



TUGAS AKHIR - RE 091324

PENGOLAHAN LUMPUR BERMINYAK DENGAN METODE *CO-COMPOSTING*

PATRICIA PERMANA JATI HAPSARI
NRP. 3310 100 060

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. YULINAH TRIHADININGRUM, M.App.Sc.

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
2014



FINAL PROJECT - RE 091324

OILY SLUDGE TREATMENT USING CO-COMPOSTING METHOD

PATRICIA PERMANA JATI HAPSARI
NRP. 3310 100 060

Supervisor
Prof. Dr. YULINAH TRIHADININGRUM, M.App.Sc.

ENVIRONMENTAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
2014

LEMBAR PENGESAHAN
PENGOLAHAN LUMPUR BERMINYAK DENGAN
METODE CO-COMPOSTING

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Patricia Permana Jati Hapsari
NRP. 3310 100 060

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc
NIP : 195307061984032004

SURABAYA, AGUSTUS 2014



PENGOLAHAN LUMPUR BERMINYAK DENGAN METODE *CO-COMPOSTING*

Nama mahasiswa : Patricia Permana Jati Hapsari
NRP : 3310 100 060
Jurusan : Teknik Lingkungan ITS
Pembimbing : Prof. Dr. Yulinah T., M.App.Sc.

ABSTRAK

Workshop di PT Pamapersada Nusantara (PAMA) menghasilkan limbah B3 berupa lumpur campuran antara pasir/tanah, air, dan hidrokarbon sebanyak 73 drum/tahun. Limbah tersebut langsung diserahkan ke pihak ketiga untuk dikelola lebih lanjut. Pada metode *co-composting* polutan organik dapat ditambahkan sebagai ko-substrat. Selama proses pengomposan berlangsung, polutan tersebut dapat mengalami biodegradasi. Oleh karena itu dilakukan penelitian yang terkait dengan penerapan metode *co-composting* pada proses pengolahan lumpur berminyak. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menentukan efisiensi penyisihan polutan minyak dengan metode *co-composting*, dan (2) menentukan aplikasi teknologi *co-composting* pada proses pengolahan limbah lumpur berminyak di lapangan.

Penelitian dilakukan pada skala laboratorium dengan menerapkan metode *co-composting* selama 60 hari. Variasi yang digunakan adalah variasi komposisi lumpur dan sampah, serta variasi campuran kompos. Variasi komposisi lumpur dan sampah yang digunakan, yaitu: (1) 85% lumpur : 15% sampah; (2) 70% lumpur : 30% sampah; (3) 55% lumpur : 45% sampah; dan (4)

50% lumpur : 50% sampah. Variasi komponen bahan baku kompos yang digunakan adalah sampah basah rumah tangga, serta campuran sampah basah rumah tangga dan kotoran ternak dengan perbandingan 60:40. Reaktor yang digunakan sebanyak 22 buah dengan kapasitas 5L. Proses aerobik dilakukan melalui injeksi udara sebesar 2100 L/jam untuk keseluruhan reaktor.

Proses *co-composting* yang telah berlangsung selama 60 hari mampu menyisihkan polutan minyak sebesar 72% pada komposisi 55% lumpur : 45% sampah basah rumah tangga. Penyisihan polutan minyak sebesar ini terjadi karena adanya kesalahan penggunaan pelarut dalam proses ekstraksi. Pelarut yang seharusnya digunakan adalah n-heksana yang bersifat non-polar. Aplikasi *co-composting* di lapangan dapat dilakukan dengan metode *trench* atau metode *in-vessel* menggunakan *rotary drum*.

Kata kunci: *co-composting*, lumpur berminyak, pengolahan

OILY SLUDGE TREATMENT USING CO-COMPOSTING METHOD

Student Name : Patricia Permana Jati Hapsari
Student ID : 3310 100 060
Department : Environmental Engineering ITS
Supervisor : Prof. Dr. Yulinah T., M.App.Sc.

ABSTRACT

The workshop of PT Pamapersada Nusantara (PAMA) generates 73 drums/year of hazardous mixed sludge, which is composed of sand/soil, water, and hydrocarbons. This waste is directly given to third party for further treatment. In the co-composting method, organic pollutant can be added as a co-substrate. During the composting process, the pollutant can be degraded. Therefore, a research work on the application of co-composting method for oily sludge treatment will be implemented. The objectives of this research are (1) to determine the oil removal efficiency of the oily sludge using co-composting method, and (2) to determine the field scale application of co-composting technology in oily sludge treatment process.

This research was conducted for 60 days at laboratory scale using PT PAMA oily sludge as a co-substrate and residential biodegradable solid waste (BSW). The variables included sludge-BSW composition, and compost raw materials. Sludge-BSW composition were varied as the following: (1) 85% sludge : 15% BSW; (2) 70% sludge : 30% BSW; (3) 55% sludge : 45% BSW; and (4) 50% sludge : 50% BSW. The compost raw materials were BSW and mixture of BSW and cattle manure of

60:40 ratio. 22 reactors with 5L in capacity were used. The aerobic process was conducted by 2100 L/hour air injection for all of the reactors.

The 60 day co-composting process could remove 72% oil pollutant in the reactor of 55% sludge : 45% residential BSW. This high removal efficiency value was caused by an error in using organic solvent during the extraction process. The solvent should be n-hexane which is non-polar. The field scale application of co-composting method for oil removal could be performed by trench or in-vessel methods using rotary drums.

Keywords: co-composting, oily sludge, treatment

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur dipanjatkan kepada Tuhan, karena berkat dan penyertaan-Nya, Tugas Akhir berjudul “Pengolahan Lumpur Berminyak dengan Metode *Co-composting*” dapat diselesaikan. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, disampaikan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc. sebagai dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
2. IDAA Warmadewanthi, ST., MT., Ph.D, Welly Herumurti, ST., MSc., Dr. Ir. Ellina Sitepu Pandebesie, MT., dan Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., MPhil., Ph.D sebagai dosen penguji Tugas Akhir.
3. Ir. Eddy S. Soedjono, Dipl.SE., MSc., Ph.D sebagai Kepala Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS.
4. Pihak PT Pamapersada Nusantara, khususnya site ADARO yang telah memberikan kesempatan dan bantuan dalam penyelesaian penelitian Tugas Akhir ini.
5. Keluarga yang selalu mengirimkan doa dan dukungan.
6. FXIKA Pradana, Agustinus Cahyo Wibowo, Natalia Diani Triana, I Made Wahyu Wijaya, Prasidya Tyanto Marhendra Putra, dan Gina Lova Sari, yang telah membantu dan memotivasi selama penyelesaian penelitian Tugas Akhir.
7. Teman-teman angkatan 2010 Teknik Lingkungan ITS atas segala bantuan, dukungan, kritik dan saran.

Dengan kerendahan hati, disadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, diharapkan kritik dan saran yang membangun guna memperbaiki diri di kemudian hari.

Surabaya, Agustus 2014
Penyusun

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Limbah Lumpur Berminyak	5
2.2 <i>Co-Composting</i>	6
2.3 Dekomposisi secara Aerobik	10
2.4 Biodegradasi Hidrokarbon	11
BAB 3 METODE PENELITIAN	15
3.1 Kerangka Penelitian	15
3.2 Tahapan Penelitian	16
BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Karakteristik Bahan Baku	25
4.2 Hasil Analisis Kompos	27
4.2.1 Suhu	27
4.2.2 pH	29
4.2.3 Kadar air	32

4.2.4.	<i>Volatile Solid (VS)</i>	35
4.2.5.	Nitrogen (TKN)	36
4.2.6.	Rasio VS/N	37
4.2.7.	Kandungan Minyak	38
4.3.	Aplikasi Teknologi <i>Co-composting</i>	46
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		55
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran	56
DAFTAR PUSTAKA		57
LAMPIRAN A PROSEDUR ANALISIS PARAMETER		63
I.	Prosedur Analisis Suhu	63
II.	Prosedur Analisis Derajat Keasaman (pH)	63
III.	Prosedur Analisis Kadar Air	64
IV.	Prosedur Analisis VS (<i>Volatile Solid</i>)	65
V.	Prosedur Analisis TKN	66
VI.	Prosedur Analisis Kandungan Minyak	68
LAMPIRAN B HASIL ANALISIS PARAMETER		71
LAMPIRAN C HASIL ANALYSIS OF VARIANCE (ANOVA)		107
LAMPIRAN D DOKUMENTASI		109

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Lumpur Berminyak	5
Gambar 2. 2	Ilustrasi Co-composting	7
Gambar 2. 3	Proses Degradasi Hidrokarbon Alifatik	11
Gambar 2. 4	Siklus Krebs	13
Gambar 2. 5	Sistem Transport Elektron	13
Gambar 3. 1	Kerangka Penelitian	15
Gambar 3. 2	Desain Reaktor	20
Gambar 4. 1	Suhu selama Proses <i>Co-composting</i>	28
Gambar 4. 2	pH selama Proses <i>Co-composting</i>	31
Gambar 4. 3	Kadar Air selama Proses <i>Co-composting</i>	34
Gambar 4. 4	Penyisihan Minyak pada Lumpur Reaktor 85L : 15S	41
Gambar 4. 5	Penyisihan Minyak pada Lumpur Reaktor 85L : 15SK	42
Gambar 4. 6	Penyisihan Minyak pada Lumpur Reaktor 70L : 30S	42
Gambar 4. 7	Penyisihan Minyak pada Lumpur Reaktor 70L : 30SK	43
Gambar 4. 8	Penyisihan Minyak pada Lumpur Reaktor 55L : 45S	43
Gambar 4. 9	Penyisihan Minyak pada Lumpur Reaktor 55L : 45SK	44
Gambar 4. 10	Penyisihan Minyak pada Lumpur Reaktor 50L : 50S	44
Gambar 4. 11	Penyisihan Minyak pada Lumpur Reaktor 50L : 50SK	45

Gambar 4. 12 Aplikasi *Co-composting* dengan Metode *Trench* .52

Gambar 4. 13 Aplikasi *Co-composting* dengan Metode *In-vessel* ..
.....54

Gambar B. 1 Perbandingan Suhu dan VS pada Reaktor 85L :
15S.....78

Gambar B. 2 Perbandingan Suhu dan VS pada Reaktor 85L :
15SK.....78

Gambar B. 3 Perbandingan Suhu dan VS pada Reaktor 70L :
30S.....79

Gambar B. 4 Perbandingan Suhu dan VS pada Reaktor 70L :
30SK.....79

Gambar B. 5 Perbandingan Suhu dan VS pada Reaktor 55L : 45S
.....80

Gambar B. 6 Perbandingan Suhu dan VS pada Reaktor 55L :
45SK.....80

Gambar B. 7 Perbandingan Suhu dan VS pada Reaktor 50L : 50S
.....81

Gambar B. 8 Perbandingan Suhu dan VS pada Reaktor 50L :
50SK.....81

Gambar B. 9 Perbandingan Suhu dan VS pada Reaktor K-S82

Gambar B. 10 Perbandingan Suhu dan VS pada Reaktor K-SK .82

Gambar B. 11 Perbandingan Kadar Air dan VS pada Reaktor 85L
: 15S.....88

Gambar B. 12 Perbandingan Kadar Air dan VS pada Reaktor 85L
: 15SK.....88

Gambar B. 13 Perbandingan Kadar Air dan VS pada Reaktor 70L
: 30S.....89

Gambar B. 14 Perbandingan Kadar Air dan VS pada Reaktor 70L
: 30SK.....89

Gambar B. 15 Perbandingan Kadar Air dan VS pada Reaktor 55L : 45S	90
Gambar B. 16 Perbandingan Kadar Air dan VS pada Reaktor 55L : 45SK.....	90
Gambar B. 17 Perbandingan Kadar Air dan VS pada Reaktor 50L : 50S	91
Gambar B. 18 Perbandingan Kadar Air dan VS pada Reaktor 50L : 50SK.....	91
Gambar B. 19 Perbandingan Kadar Air dan VS pada Reaktor K-S	92
Gambar B. 20 Perbandingan Kadar Air dan VS pada Reaktor K-SK.....	92
Gambar B. 21 Kurva Kalibrasi TKN.....	94
Gambar B. 22 Kandungan Minyak pada Lumpur Reaktor 85L : 15S	102
Gambar B. 23 Kandungan Minyak pada Lumpur Reaktor 85L : 15SK.....	102
Gambar B. 24 Kandungan Minyak pada Lumpur Reaktor 70L : 30S	103
Gambar B. 25 Kandungan Minyak pada Lumpur Reaktor 70L : 30SK.....	103
Gambar B. 26 Kandungan Minyak pada Lumpur Reaktor 55L : 45S	104
Gambar B. 27 Kandungan Minyak pada Lumpur Reaktor 55L : 45SK.....	104
Gambar B. 28 Kandungan Minyak pada Lumpur Reaktor 50L : 50S	105
Gambar B. 29 Kandungan Minyak pada Lumpur Reaktor 50L : 50SK.....	105

Gambar C. 1	Hasil ANOVA Pengaruh Komposisi Lumpur dan Sampah terhadap Nilai Penyisihan Polutan Minyak	107
Gambar C. 2	Hasil Uji Tukey's HSD Pengaruh Komposisi Lumpur dan Sampah terhadap Nilai Penyisihan Polutan Minyak	107
Gambar C. 3	Hasil ANOVA Pengaruh Campuran Kompos terhadap Nilai Penyisihan Polutan Minyak	108
Gambar D. 1	<i>Workshop</i> PT PAMA.....	109
Gambar D. 2	Proses Pembersihan <i>Workshop</i>	109
Gambar D. 3	Limbah Lumpur Berminyak	110
Gambar D. 4	Kotoran Sapi.....	110
Gambar D. 5	Sampah Basah Rumah Tangga	111

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1	Kebutuhan Reaktor	18
Tabel 3. 2	Metode Analisis Parameter	22
Tabel 4. 1	Karakteristik Awal Bahan Kompos	25
Tabel 4. 2	Hasil Pengukuran pH	30
Tabel 4. 3	Hasil Pengukuran Kadar Air	33
Tabel 4. 4	Hasil Pengukuran <i>Volatile Solid</i> (VS)	36
Tabel 4. 5	Hasil Pengukuran TKN	37
Tabel 4. 6	Hasil Pengukuran Rasio VS/N	38
Tabel B.1 a	Hasil Pengukuran Suhu	71
Tabel B.1 b	Hasil Pengukuran Suhu	72
Tabel B.1 c	Hasil Pengukuran Suhu	73
Tabel B.1 d	Hasil Pengukuran Suhu	74
Tabel B.1 e	Hasil Pengukuran Suhu	75
Tabel B.1 f	Hasil Pengukuran Suhu	76
Tabel B.1 g	Hasil Pengukuran Suhu	77
Tabel B.2 a	Hasil Pengukuran pH	83
Tabel B.2 b	Hasil Pengukuran pH	84
Tabel B.3 a	Hasil Pengukuran Kadar Air	85
Tabel B.3 b	Hasil Pengukuran Kadar Air	86
Tabel B.3 c	Hasil Pengukuran Kadar Air	87
Tabel B.4	Hasil Pengukuran <i>Volatile Solid</i> (VS)	93
Tabel B.5	Hasil Pengukuran TKN	95

Tabel B.6	Hasil Pengukuran VS/N.....	96
Tabel B.7	Hasil Pengukuran Minyak Total	97
Tabel B.8	Hasil Perhitungan Reduksi Minyak pada Campuran Kompos.....	99
Tabel B.9	Hasil Perhitungan Minyak Lumpur.....	99

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT Pamapersada Nusantara (PAMA) adalah perusahaan yang bergerak dalam bisnis “*mining and earthmoving contractor*”. Berbagai proyek penambangan (batubara, emas dan *quarry*), proyek konstruksi, penyiapan lahan dan *logging* menjadi kompetensi yang dimiliki PAMA. Sebagai salah satu kontraktor pertambangan, PAMA memiliki kompetensi di bidang batubara yang meliputi: eksplorasi, perencanaan pertambangan, pembangunan infrastruktur pendukung aktivitas pertambangan, operasi pertambangan, reklamasi dan revegetasi bekas wilayah pertambangan, serta pemindahan muatan antar alat pengangkut dan penjualan.

Workshop (bengkel) merupakan salah satu infrastruktur pendukung aktivitas pertambangan yang berpotensi menghasilkan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Berdasarkan Lampiran PP nomor 85 tahun 1999, kegiatan bengkel pemeliharaan kendaraan dengan kode D251 menghasilkan pencemar utama antara lain: limbah minyak, pelarut mudah terbakar, asam, dan logam berat yang tergolong dalam limbah B3. Limbah B3 tersebut berasal dari proses pemeliharaan peralatan pertambangan yang dilakukan secara rutin dan berkala.

Workshop milik PAMA juga menghasilkan limbah B3 berupa lumpur campuran antara pasir/tanah, air, dan hidrokarbon. Lumpur terbentuk ketika dilakukan pembersihan pada *bays workshop*, dimana pasir/tanah dan hidrokarbon (oli bekas, gemuk, dan lain-lain) yang berasal dari alat tambang bercampur dengan air. Lumpur tersebut kemudian dialirkan menuju ke bangunan *oil*

trap melalui sebuah parit untuk proses pemisahan antara air dan hidrokarbon. Akan tetapi setelah proses pemisahan, masih ditemukan beberapa lumpur yang masih terkontaminasi oleh hidrokarbon ketika pengurasan bangunan *oil trap*.

Umumnya, lumpur berminyak adalah residu yang sulit untuk diolah dengan karakteristik emulsi air/minyak (W/O) stabil yang terdiri dari air, padatan, *petroleum hydrocarbons* (PHCs), dan logam (Hu dkk., 2013). Salah satu cara untuk mengolah lumpur berminyak adalah dengan menggunakan metode *co-composting*. Menurut Dinis (2010), *co-composting* adalah penambahan bahan kimia untuk meningkatkan laju reaksi dan komposisi kompos. *Co-composting* juga dapat diartikan sebagai penggunaan jenis limbah lain bersamaan dengan limbah yang biasanya digunakan pada proses pengomposan untuk meningkatkan proses sekaligus mengurangi pembuangan limbah lain. Melalui *co-composting*, tidak hanya produk sampingan dari pertanian dan perkotaan saja yang dicanangkan, berbagai limbah industri pun dapat diolah dengan cara ini. Kriipsalu dkk. (2007) melakukan penelitian terhadap biodegradasi aerobik lumpur berminyak dari IPAL kilang minyak pada tumpukan *composting* dengan empat tambahan campuran yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah pengolahan selama 373 hari, reduksi TPH terjadi sebesar 62%, 51%, 74%, dan 49% untuk timbunan dengan campuran pasir, kompos minyak matang, kompos sampah dapur, dan cacahan sampah kayu secara berurutan.

Berdasarkan latar belakang di atas, dilakukan penelitian terkait penerapan metode *co-composting* pada proses pengolahan lumpur berminyak. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur efisiensi penyisihan polutan minyak dan aplikasi teknologi *co-composting* pada proses pengolahan limbah lumpur berminyak di lapangan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi

pertimbangan bagi PAMA untuk menerapkan metode *co-composting* dalam proses pengolahan lumpur berminyak.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang diteliti dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana efisiensi penyisihan polutan minyak pada proses pengolahan limbah lumpur berminyak dengan metode *co-composting*?
2. Bagaimana aplikasi teknologi *co-composting* pada proses pengolahan limbah lumpur berminyak di lapangan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Menentukan efisiensi penyisihan polutan minyak pada proses pengolahan limbah lumpur berminyak dengan metode *co-composting*.
2. Menentukan aplikasi teknologi *co-composting* pada proses pengolahan limbah lumpur berminyak di lapangan.

1.4 Ruang Lingkup

Penelitian ini memiliki ruang lingkup antara lain:

1. Bahan utama pembuatan kompos adalah limbah lumpur berminyak dari proses pembersihan *workshop* PT Pamapersada Nusantara, *site* Tutupan, Kalimantan Selatan.

2. Proses pengomposan dilakukan selama 60 hari menggunakan *duplo* reaktor sebanyak 22 reaktor.
3. Variabel penelitian yang digunakan adalah:
 - a. Variasi komposisi lumpur dan sampah
 - b. Variasi campuran kompos
4. Parameter yang dianalisis antara lain: suhu, pH, kadar air, kandungan minyak, *volatile solid* (VS), dan TKN.
5. Penelitian dilakukan di Laboratorium Pengelolaan Limbah Padat dan B3 Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS dan laboratorium-laboratorium pendukung lainnya.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi ilmiah tentang pengolahan dan pemanfaatan limbah lumpur berminyak dari proses pembersihan *workshop*.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Limbah Lumpur Berminyak

Lumpur berminyak adalah residu yang sulit untuk diolah dengan karakteristik emulsi air/minyak (W/O) stabil yang terdiri dari air, padatan, *petroleum hydrocarbons* (PHCs), dan logam. Stabilitas emulsi W/O tergantung pada lapisan protektif yang mencegah penyatuan butiran air. Lapisan *interfacial* ini terdiri atas berbagai macam emulsifier alami seperti beberapa unsur pokok PHCs (aspal dan resin), padatan halus, asam organik yang larut dalam minyak, dan berbagai material lain (Hu dkk., 2013).



Gambar 2. 1 Lumpur Berminyak (Dokumentasi PAMA)

PHC dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu alkana, alkena, dan hidrokarbon aromatik. Alkena bukan merupakan konstituen alami dari minyak mentah, melainkan terbentuk

selama proses penyulingan. Hidrokarbon juga dapat dibedakan berdasarkan kerentanan terhadap mikroba dan telah diurutkan sesuai penurunan kerentanannya: n-alkana > alkana bercabang > aromatik dengan berat molekul rendah > alkana siklik (Chokshi, 2003).

PHC berkisar antara C_6 dan C_{25} . Bensin merupakan fraksi ringan pada kisaran C_6 hingga C_{10} dengan titik didih 23°C hingga 204°C . Solar berada pada kelompok distilat menengah (C_6 hingga C_{22}) dengan titik didih antara 202°C dan 320°C . Mayoritas hidrokarbon diesel berkisar antara C_{10} dan C_{18} . Oli dan pelumas merupakan produk minyak yang lebih berat dengan kemiripan komposisi dan karakteristik dengan distilat menengah (Ma, 1998).

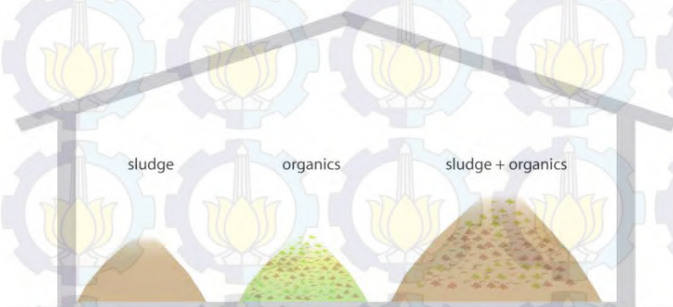
PHC adalah salah satu kontaminan umum di lingkungan. PHC berdampak pada tanah dan air yang ada di lokasi pengeboran, kilang minyak, stasiun pelayanan, dan fasilitas lain seperti lokasi pengumpulan minyak. Pemrosesan minyak dan konsumsi produk minyak mengarah kepada pelepasan polutan hidrokarbon seperti *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (PAHs) dan sama halnya dengan logam. PHC menyebabkan permasalahan lingkungan yang serius karena pemakaiannya yang tersebar luas (Wang, 2008). Kontaminasi PAH telah menarik perhatian dari masyarakat dan sisi ilmiah karena sifat sulit diolah dari PAH dan karakteristiknya yang mutagenik dan karsinogenik (Lei dkk., 2007).

2.2. Co-Composting

Co-composting, sebagai pengomposan biasa, adalah penambahan bahan kimia untuk meningkatkan laju reaksi dan komposisi kompos. *Co-composting* juga dapat diartikan sebagai

penggunaan jenis limbah lain bersamaan dengan limbah yang biasanya digunakan pada proses pengomposan untuk meningkatkan proses sekaligus mengurangi pembuangan limbah lain. Melalui *co-composting*, tidak hanya produk sampingan dari pertanian dan perkotaan saja yang dicanangkan, berbagai limbah industri pun dapat diolah dengan cara ini (Dinis, 2010). Penerapan *composting* sebagai teknologi bioremediasi untuk mengolah limbah B3 telah menunjukkan keefektifannya dalam proses biodegradasi PAHs, klorofenol, *polychlorinated biphenyls*, bahan peledak, dan *petroleum hydrocarbons* pada skala laboratorium maupun skala lapangan (Godoy-Faundez dkk., 2008).

Laju biodegradasi pada limbah terkontaminasi karena tumpahan dipengaruhi oleh faktor biologis dan fisik-kimia, seperti sedikitnya mikroba, kurangnya oksigen maupun keberadaan nutrien, suhu, dan kadar air. Laju biodegradasi juga dipengaruhi oleh beberapa sifat fisik-kimia yang berkaitan dengan kontaminan (seperti hidrofobisitas, volatilitas, polaritas), matriks padatan (seperti kandungan organik, porositas) dan *bioavailability* (Godoy-Faundez dkk., 2008).



Gambar 2. 2 Ilustrasi Co-composting (akvopedia.org)

Faktor yang mempengaruhi proses pengomposan dibagi menjadi dua kelompok, berdasarkan formula campuran kompos dan proses pengelolaannya. Formula campuran kompos antara lain rasio C/N, pH, ukuran partikel, dan kelembapan. Sedangkan di dalam proses pengelolaan, yaitu konsentrasi oksigen, suhu, dan kandungan air (Bernal dkk., 2009).

Rasio C/N

Nilai rasio C/N merupakan faktor penting dalam pengomposan untuk mengetahui kematangan kompos (Abouelwafa dkk., 2008). Mikroorganisme membutuhkan sumber energi (C-organik) dan nitrogen (N) untuk perkembangan dan aktifitasnya. Nilai rasio C/N yang terlalu tinggi akan membuat proses pengomposan berjalan lambat oleh karena substrat yang diuraikan terlalu banyak. Apabila rasio C/N terlalu rendah, akan terjadi kelebihan N pada setiap penguraian substrat (C) dan N-anorganik yang dihasilkan tinggi (Bernal dkk., 2009). Menurut Sweeten dan Auvermann (2008), kondisi awal rasio C/N yang ideal untuk proses pengomposan adalah 20-30. Menurut Bernal dkk. (2009), rasio C/N yang ideal adalah 25-35.

pH

Aktivitas mikroba berjalan dengan baik pada lingkungan dengan kondisi pH 6,7-9, namun kondisi optimum terjadi pada pH 5,5-8. Faktor ini berperan dalam mengendalikan kehilangan N dalam bentuk gas ammonia yang dapat sangat tinggi pada pH >7,5 (Bernal dkk., 2009). Untuk mengurangi kehilangan nitrogen, maka pH tidak boleh melebihi 8,5 (Baquerizo dkk., 2007). Selama proses pengomposan akan terjadi perubahan pH akibat aktivitas mikroba, namun pH akan mendekati netral saat kompos mencapai kematangan.

Ukuran Partikel

Ukuran partikel penting untuk menyeimbangkan permukaan substrat yang berpengaruh pada pertumbuhan mikroba serta penyediaan porositas untuk aerasi. Kompos dengan ukuran partikel terlalu besar akan menyulitkan penguraian oleh mikroorganisme, sedangkan kompos dengan ukuran partikel terlalu kecil akan mengurangi porositas yang membuat berkurangnya suplai oksigen (Bernal dkk., 2009). Untuk hasil yang maksimal pada proses pengomposan, maka ukuran partikel material organik yang akan diolah harus berkisar 25-75 mm.

Kelembapan

Kadar kelembapan bahan material pengomposan yang optimal umumnya berkisar 50-60%. Pada saat kelembapan >60%, maka pergerakan oksigen akan terhambat dan kondisi lingkungan yang terjadi cenderung anaerobik (Bernal dkk., 2009; Cooperband, 2002). Namun kelembapan yang terlalu rendah akan menyebabkan proses dekomposisi berjalan lambat (Cooperband, 2002).

Aerasi

Proses pengomposan pada kondisi aerobik akan lebih cepat dibandingkan pada kondisi anaerobik (Tanpanich dkk., 2009 dan Saithep dkk., 2009). Aerasi merupakan faktor utama dalam pengomposan secara aerobik. Aerasi dapat mengontrol suhu, mengurangi kelembapan dan karbondioksida berlebih, serta menyediakan oksigen untuk proses biologis. Konsentrasi oksigen yang optimal untuk pengomposan secara aerobik berkisar 15-20% (Bernal dkk., 2009).

Temperatur

Proses pengomposan berlangsung optimum pada kisaran suhu 40-65°C, dimana pertumbuhan mikroba optimal sehingga proses dekomposisi substrat berjalan cepat (Babyranidevi dan Bhoyar, 2003 dan Bernal dkk., 2009). Selama proses pengomposan, mikroba akan menghasilkan panas dan mengkonsumsi lebih banyak oksigen. Temperatur >55°C diperlukan untuk membunuh mikroorganisme patogen (Bernal dkk., 2009).

2.3. Dekomposisi secara Aerobik

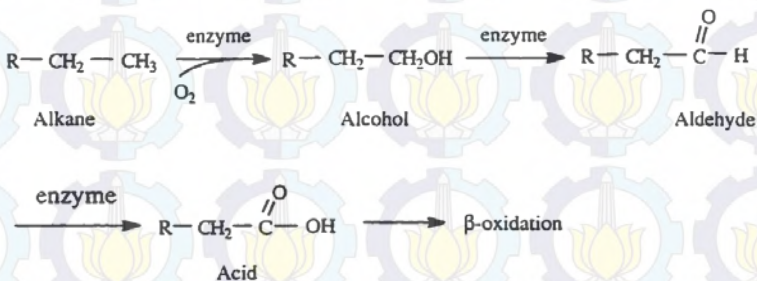
Secara teknis proses pengomposan dengan metode aerobik memiliki keuntungan bila dibandingkan dengan anaerobik. Proses dekomposisi bahan organik pada kondisi aerobik akan berlangsung lebih singkat (Cooperband, 2002). Pengomposan aerobik membutuhkan waktu proses yang lebih cepat, menghasilkan lebih banyak energi panas serta tidak menghasilkan bau tak sedap (Polprasert, 2007). Pada kondisi aerobik, mikroorganisme akan mengoksidasi senyawa organik dan menghasilkan CO₂, H₂O, NH₃, dan SO₄²⁻ (Theresa dkk., 2007). Pada kondisi ini laju aerasi sangat berpengaruh terhadap proses pengomposan. Menurut Kriipsalu dan Nammari (2009), pada pengomposan lumpur berminyak digunakan laju aerasi sebesar 30,0 m³/menit untuk 21 ton campuran kompos.

Reaksi yang terjadi pada proses pengomposan aerobik yaitu:



2.4. Biodegradasi Hidrokarbon

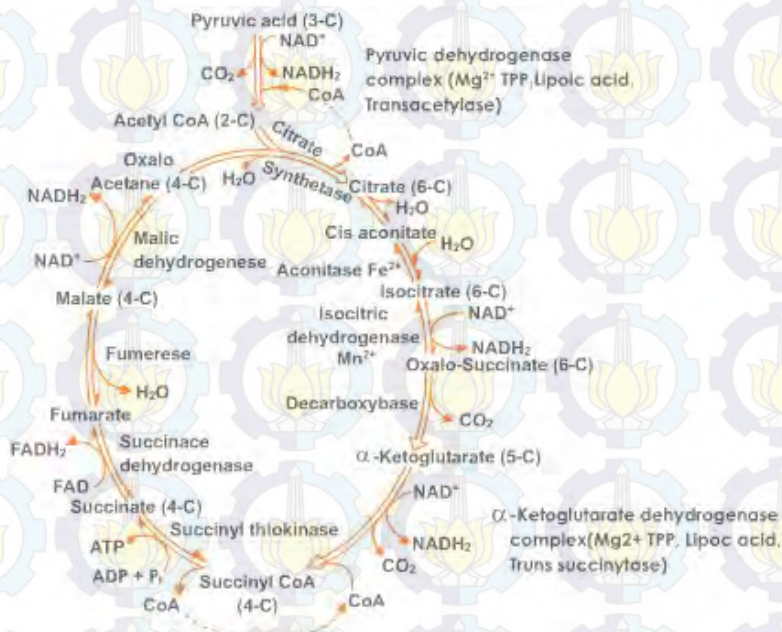
Transformasi pada proses degradasi material organik dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori: mineralisasi dan ko-metabolisme. Mineralisasi adalah konversi dari material organik menjadi produk anorganik. Pada proses ini, senyawa yang akan dimineralisasi dijadikan sebagai substrat pertumbuhan dan sumber energi bagi mikroorganisme. Umumnya, hanya sebagian dari senyawa organik yang diserap ke dalam sel, dengan pembentukan hasil sisa berupa CO_2 dan H_2O . Ko-metabolisme adalah degradasi senyawa organik yang biasanya melalui transformasi dengan bantuan enzim non-spesifik. Berlawanan dengan mineralisasi, ko-metabolisme tidak menghasilkan peningkatan pada biomassa sel maupun energi. Secara khusus, ko-metabolisme menghasilkan modifikasi atau transformasi pada material organik dan tidak menghancurkan molekul secara sempurna. Komponen minyak dapat didegradasi dengan mineralisasi maupun ko-metabolisme, tergantung pada sifat kimianya (Stoner, 1994).



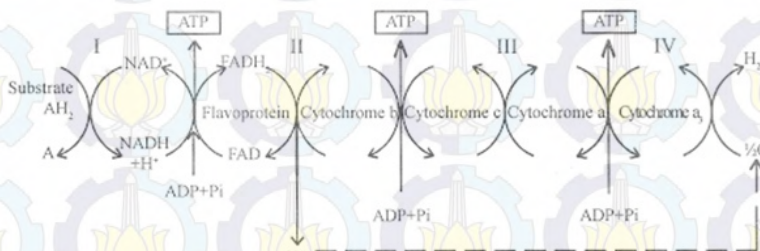
Gambar 2. 3 Proses Degradasi Hidrokarbon Alifatik (Gaudy dan Gaudy, 1980)

Hidrokarbon alifatik (rantai panjang) dioksidasi oleh berbagai macam bakteri dan jamur. Oksigen dibutuhkan untuk

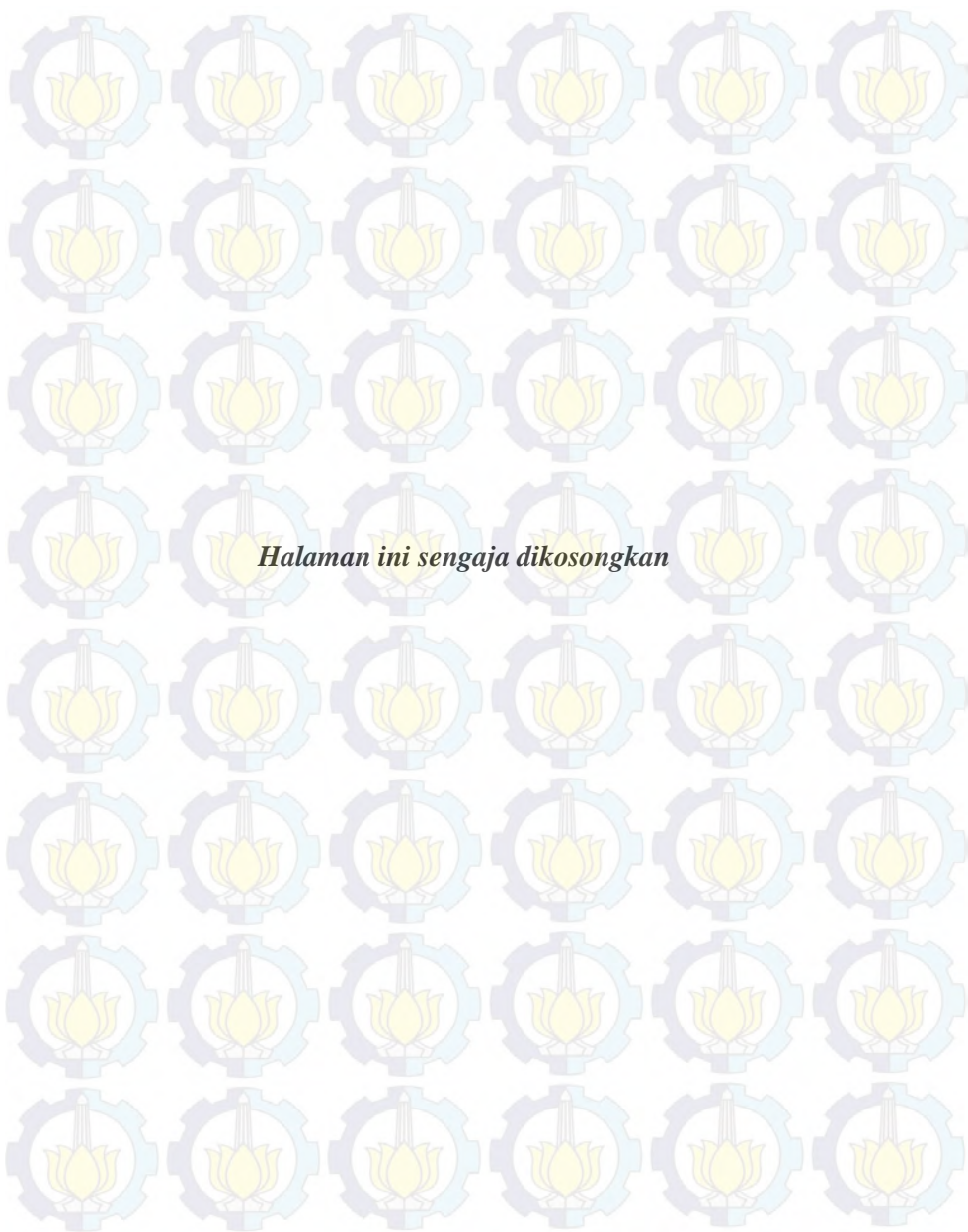
metabolisme hidrokarbon oleh mikroba, dan terbatas hanya pada kondisi aerobik. Proses utama metabolisme ini melibatkan oksidasi pada kelompok metil menjadi alkohol primer, dimana pada tahap ini dibutuhkan oksigen. Alkohol ini kemudian secara berturut-turut dioksidasi oleh dehidrogenase menjadi aldehid, dan selanjutnya menjadi asam lemak. Ketika hidrokarbon sudah diubah menjadi asam lemak, asam lemak ini dapat dicerna melalui proses beta-oksidasi. Proses ini disebut beta-oksidasi karena beta-karbon (gugus karbon kedua dari karboksil) dioksidasi. (Gaudy dan Gaudy, 1980). Asam lemak yang terbentuk merupakan asam monokarboksilat. Degradasi asam monokarboksilat melalui proses beta-oksidasi membentuk asetat sebagai asetil ko-enzim A. Dengan demikian, asam karboksilat dipecah secara berurutan oleh dua karbon. Asetat yang dipecah dari alkana dicerna melalui proses metabolik pusat dengan pelepasan akhir berupa CO_2 (Stoner, 1994). Proses ini meliputi siklus Krebs (Gambar 2. 4) dan sistem transport elektron (Gambar 2. 5). Siklus Krebs terdiri atas berbagai reaksi oksidasi-reduksi asam-asam organik membentuk energi, CO_2 , dan H_2O . Dalam sistem transport elektron, atom-atom H yang keluar dari asam-asam organik pada siklus Krebs dipindahkan oleh enzim dehidrogenase melalui senyawa-senyawa nukleotida (NAD dan NADP), flavoprotein, dan sitokrom yang mengandung Fe. Produk akhirnya adalah H_2O dan ATP.



Gambar 2. 4 Siklus Krebs (www.tutorvista.com)



Gambar 2. 5 Sistem Transport Elektron (www.tutorsglobe.com)

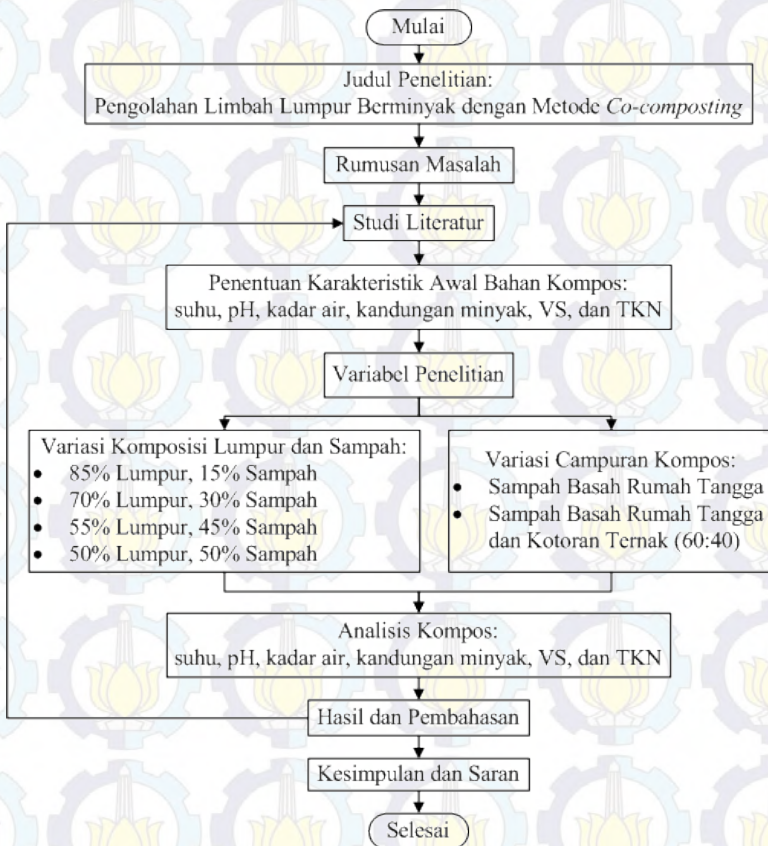


BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian disusun untuk mengetahui tahapan-tahapan yang akan dilakukan selama penelitian Tugas Akhir. Langkah-langkah tersebut dapat dilihat pada Gambar 3. 1.



Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang akan dilakukan dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Ide Penelitian

Ide penelitian ini muncul dari permasalahan yang terjadi pada proses pembersihan *workshop* di PT. Pamapersada Nusantara, *site* Tutupan, Kalimantan Selatan. Limbah lumpur berminyak yang dihasilkan ini belum diolah dan langsung diserahkan ke pihak ketiga untuk dikelola lebih lanjut. Metode *co-composting* merupakan cara pengolahan minyak yang terkandung dalam lumpur dengan memanfaatkan bakteri pada sampah. Metode ini dapat dikembangkan lebih lanjut sebagai upaya bioremediasi. Selain sampah, minyak yang terkandung dalam lumpur juga akan terdegradasi melalui proses pengomposan. Adanya penyisihan minyak ini memunculkan ide untuk dilakukannya penelitian dengan judul “Pengolahan Limbah Lumpur Berminyak dengan Metode *Co-Composting*”.

2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah adalah permasalahan yang akan terjawab dari hasil penelitian ini. Rumusan masalah tersebut adalah efisiensi penyisihan polutan minyak pada proses pengolahan limbah lumpur berminyak dengan metode *co-composting* serta aplikasi teknologi *co-composting* pada proses pengolahan limbah lumpur berminyak di lapangan.

3. Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk memperoleh teori atau dasar yang kuat terkait penelitian yang dilakukan. Literatur

yang digunakan berasal dari buku, jurnal, Tugas Akhir/Tesis/Disertasi, serta internet. Teori yang digunakan meliputi limbah lumpur berminyak, *co-composting*, dekomposisi secara aerobik, dan biodegradasi hidrokarbon.

4. Penentuan Karakteristik Awal Bahan Kompos

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk mengetahui karakteristik awal lumpur berminyak, sampah basah rumah tangga, serta campuran sampah basah rumah tangga dan kotoran ternak. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui kondisi awal campuran limbah lumpur berminyak dan sampah yang dikomposkan sehingga dapat diamati perubahannya selama proses *co-composting*. Pengujian meliputi suhu, pH, kadar air, kandungan minyak, *volatile solid* (VS), dan TKN.

5. Variabel Penelitian

Terdapat dua variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini, yaitu komposisi lumpur dan sampah serta campuran kompos. Variasi komposisi lumpur dan sampah antara lain: *co-composting* dengan perbandingan 85% lumpur dan 15% campuran kompos, 70% lumpur dan 30% campuran kompos, 55% lumpur dan 55% campuran kompos, serta 50% lumpur dan 50% campuran kompos. Variasi komposisi ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan campuran kompos terhadap besarnya penyisihan polutan limbah lumpur berminyak. Variasi campuran kompos yang digunakan adalah substrat sampah basah rumah tangga serta substrat campuran sampah basah rumah tangga dan kotoran ternak. Substrat campuran sampah basah rumah tangga dan kotoran ternak menggunakan

perbandingan yang paling optimal, yakni 60:40 (Varma dan Kalamdhad, 2013). Variasi campuran kompos ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh campuran kompos terhadap besarnya penyisihan polutan limbah lumpur berminyak, dengan penyesuaian kondisi di lapangan.

Sampah basah rumah tangga yang digunakan berasal dari Super Depo Sutorejo, yang terdiri dari sisa makanan yang dapat dikomposkan, sisa sayuran, serta sampah daun. Kotoran ternak yang digunakan merupakan kotoran sapi setengah kering dari salah satu peternakan sapi perah yang terletak di daerah Jemur Wonosari, Wonocolo. Kombinasi kedua variabel tersebut membutuhkan setidaknya 22 reaktor dengan perlakuan seperti yang dapat dilihat pada Tabel 3. 1.

Tabel 3. 1 Kebutuhan Reaktor

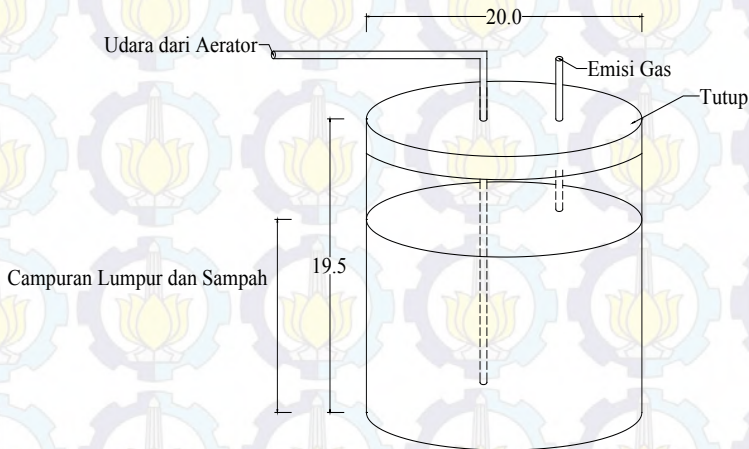
Keterangan Reaktor	Variabel		Jumlah Reaktor
	Komposisi Lumpur dan Sampah	Campuran Kompos	
Reaktor Kontrol	0% lumpur	sampah basah rumah tangga	2
Reaktor Kontrol	0% lumpur	campuran 60% sampah basah rumah tangga dan 40% kotoran ternak	2
Reaktor Uji	85% lumpur, 15% campuran kompos	sampah basah rumah tangga	2
Reaktor Uji	85% lumpur, 15% campuran kompos	campuran 60% sampah basah rumah tangga dan 40% kotoran ternak	2
Reaktor Uji	70% lumpur, 30% campuran kompos	sampah basah rumah tangga	2

Keterangan Reaktor	Variabel		Jumlah Reaktor
	Komposisi Lumpur dan Sampah	Campuran Kompos	
Reaktor Uji	70% lumpur, 30% campuran kompos	campuran 60% sampah basah rumah tangga dan 40% kotoran ternak	2
Reaktor Uji	55% lumpur, 45% campuran kompos	sampah basah rumah tangga	2
Reaktor Uji	55% lumpur, 45% campuran kompos	campuran 60% sampah basah rumah tangga dan 40% kotoran ternak	2
Reaktor Uji	50% lumpur, 50% campuran kompos	sampah basah rumah tangga	2
Reaktor Uji	50% lumpur, 50% campuran kompos	campuran 60% sampah basah rumah tangga dan 40% kotoran ternak	2
Reaktor Kontrol	100% lumpur	tanpa campuran kompos	2
Total Reaktor			22

6. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 60 hari. Bahan uji berupa campuran limbah lumpur berminyak dari proses pembersihan *workshop* PT Pamapersada Nusantara, *site* Tutupan, Kalimantan Selatan dan variasi sampah dengan kelembapan $\pm 50\%$. Untuk pengondisian ini, campuran limbah lumpur berminyak dan sampah dikeringkan udara hingga kelembapannya $<50\%$. Penambahan air akan dilakukan perlahan hingga dicapai kondisi kelembapan yang diinginkan.

Reaktor yang digunakan berkapasitas 5 Liter. Reaktor diisi dengan campuran kompos sebanyak kira-kira 1 kg berat basah. Untuk suplai udara, disediakan pipa aerasi ke dalam reaktor. Gambar desain reaktor dapat dilihat pada Gambar 3. 2.



Gambar 3. 2 Desain Reaktor

Kebutuhan udara di dalam reaktor disesuaikan dengan laju aerasi pengomposan lumpur berminyak (Kriipsalu dan Nammari, 2009) yakni sebesar 1,429 L/menit/kg campuran kompos secara kontinyu, sehingga:

$$\begin{aligned}
 \text{kebutuhan udara} &= \text{jumlah reaktor} \times \text{berat campuran} \\
 &\quad \text{kompos} \times \text{laju aerasi pengomposan} \\
 &= 22 \text{ reaktor} \times 1 \text{ kg} \times 1,429 \text{ L/menit/kg} \\
 &= 31,44 \text{ L/menit} = 1.886,28 \text{ L/jam}
 \end{aligned}$$

Suplai udara dengan kisaran 2.100 L/jam diinjeksikan ke dalam 22 reaktor menggunakan aerator. Pembagian udara ini

dilakukan dengan menggunakan 10 pembagi (*divider*) yang terdapat pada aerator. Sembilan saluran pembagi dibagi ke selang pembagi, masing-masing saluran pembagi untuk dua reaktor dan satu saluran pembagi dibagi ke selang pembagi untuk empat reaktor. Adanya kelebihan 214 L/jam pada suplai udara yang diinjeksikan, maka diasumsikan kebutuhan udara masing-masing reaktor telah terpenuhi. Apabila dalam proses *co-composting* dihasilkan lindi, maka dilakukan pengadukan untuk mencampurkan kembali lindi yang terkumpul di dasar reaktor.

Pengujian karakteristik awal dilakukan pada campuran limbah lumpur berminyak dan sampah sebelum dilakukan penelitian. Pengujian meliputi suhu, pH, kadar air, kandungan minyak, *volatile solid* (VS), dan TKN. Selanjutnya, selama penelitian berlangsung, pengujian pada campuran kompos dilakukan setiap periode tertentu untuk mengamati perubahan yang terjadi.

7. Analisis Parameter

Analisis parameter dilakukan pada sampel kompos untuk mengamati perubahan yang terjadi. Sampel uji kompos diambil dari bagian tengah reaktor yang mewakili keseluruhan bagian kompos. Analisis parameter suhu dilakukan setiap hari, sedangkan parameter pH dan kadar air setiap 5 hari sekali. Parameter *volatile solid* (VS) dan TKN dianalisis setiap 15 hari sekali. Analisis kandungan minyak dilakukan pada awal, hari ke-30, 45, dan akhir dari proses *co-composting*. Metode analisis yang digunakan pada setiap parameter dapat dilihat pada Tabel 3. 2.

Tabel 3. 2 Metode Analisis Parameter

Parameter	Periode <i>Sampling</i>	Metode Analisis	Sumber
Suhu	setiap hari	Termometri	APHA AWWA, 1998
pH	5 hari sekali	Elektrometri	
Kadar Air		Gravimetri	
TKN	15 hari sekali	Kjeldahl	
VS		Gravimetri	
Kandungan Minyak	awal, hari ke-30, 45, dan akhir penelitian	Ekstraksi Soxhlet	

8. Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data dan pembahasan dilakukan terhadap data yang diperoleh dari hasil analisis parameter. Analisis dilakukan untuk menentukan efisiensi penyisihan polutan minyak yang terjadi selama proses *co-composting* dan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Selain itu, pembahasan juga dilakukan untuk menentukan aplikasi teknologi *co-composting* pada proses pengolahan limbah lumpur berminyak di lapangan yang meliputi persyaratan rancang bangun dan fasilitas penunjangnya. Semua hasil dari penelitian dan analisis dibahas secara detail sehingga tujuan penelitian tercapai.

9. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan serangkaian analisis dan pembahasan, dihasilkan kesimpulan yang menjawab rumusan permasalahan pada penelitian serta saran untuk penelitian

selanjutnya. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi pertimbangan bagi PAMA untuk menerapkan metode *co-composting* dalam proses pengolahan lumpur berminyak.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Bahan Baku

Bahan baku campuran kompos selama proses *co-composting* merupakan lumpur berminyak, sampah basah rumah tangga, serta campuran sampah basah rumah tangga dan kotoran ternak. Bahan baku tersebut telah melalui proses penjemuran dengan durasi 2-4 jam setiap harinya. Lumpur berminyak dijemur selama 7 hari, sampah basah rumah tangga dijemur selama 1 hari, dan kotoran ternak dijemur selama 2 hari. Penjemuran dilakukan untuk mengurangi kadar air berlebih pada masing-masing bahan baku agar proses pengomposan dapat berlangsung pada kondisi kelembapan 50-60%.

Bahan baku campuran kompos yang digunakan dalam proses *co-composting* ini antara lain lumpur berminyak sebanyak 12,43 kg, sampah basah rumah tangga sebanyak 7,73 kg, dan kotoran ternak sebanyak 1,94 kg. Bahan baku campuran kompos ini dimasukkan ke dalam 22 reaktor sesuai variasi komposisinya, kemudian dilakukan penentuan karakteristik awal bahan kompos. Karakteristik awal bahan kompos meliputi suhu, pH, kadar air, kandungan minyak, *volatile solid* (VS), dan TKN seperti pada Tabel 4. 1.

Tabel 4. 1 Karakteristik Awal Bahan Kompos

Nama	Suhu (°C)	pH	Kadar Air (%)	Minyak Total (µg/g)	VS (%)	TKN (%)	VS/N
85L : 15S	38	7.16	47.51	36309	18.58	1.87	9.92
85L : 15SK	38	7.24	44.87	35550	26.62	1.82	14.64
70L : 30S	38	7.25	47.73	54300	22.63	2.36	9.88

Nama	Suhu (°C)	pH	Kadar Air (%)	Minyak Total (µg/g)	VS (%)	TKN (%)	VS/N
70L : 30SK	40	7.36	45.31	48000	35.66	2.52	14.24
55L : 45S	39	7.29	53.21	60100	32.37	1.54	21.56
55L : 45SK	40	7.32	37.36	50000	52.15	1.09	47.51
50L : 50S	40	7.42	48.84	64300	37.08	2.30	16.69
50L : 50SK	42	7.63	40.83	39800	45.58	1.43	36.07
K-S	38	6.60	51.93	46800	63.44	1.53	46.64
K-SK	40	6.85	36.74	33500	73.48	1.71	50.33
K-L	39	7.51	47.15	76000	12.97	1.33	9.90

Menurut Bernal dkk. (2009), faktor yang mempengaruhi proses pengomposan berdasarkan formula campuran kompos antara lain rasio C/N, pH, dan kadar air. Berdasarkan hasil analisis untuk menentukan karakteristik awal bahan kompos, diketahui bahwa pH berkisar antara 6,60-7,63. Kondisi ini termasuk baik bagi mikroorganisme untuk beraktivitas, karena kondisi optimum terjadi pada pH 5,5-8. Kadar air yang berkisar antara 36,74-53,21% menunjukkan kondisi awal yang kurang optimum untuk proses dekomposisi. Menurut Cooperband (2002), kelembapan yang terlalu rendah akan menyebabkan proses dekomposisi berjalan lambat, dimana kondisi optimumnya berkisar antara 50-60%. Oleh karena itu, penambahan air dilakukan kemudian pada reaktor dengan kadar air yang belum optimum. Kondisi awal rasio C/N yang ideal untuk proses pengomposan menurut Sweeten dan Auvermann (2008) serta Bernal dkk. (2009) adalah 20-35. Hasil analisis menunjukkan kondisi awal rasio VS/N berkisar antara 9,88-50,33 dengan asumsi besarnya C-organik sebanding dengan besarnya *volatile solid* (VS). Adanya kondisi awal rasio C/N yang terlalu rendah,

dapat mengakibatkan terjadinya kelebihan nitrogen pada setiap penguraian substrat (C), sehingga N-organik yang dihasilkan tinggi. Pada kondisi ini tidak dilakukan penambahan glukosa untuk meningkatkan nilai C, karena ingin dipertahankan sifat asli dari masing-masing campuran kompos.

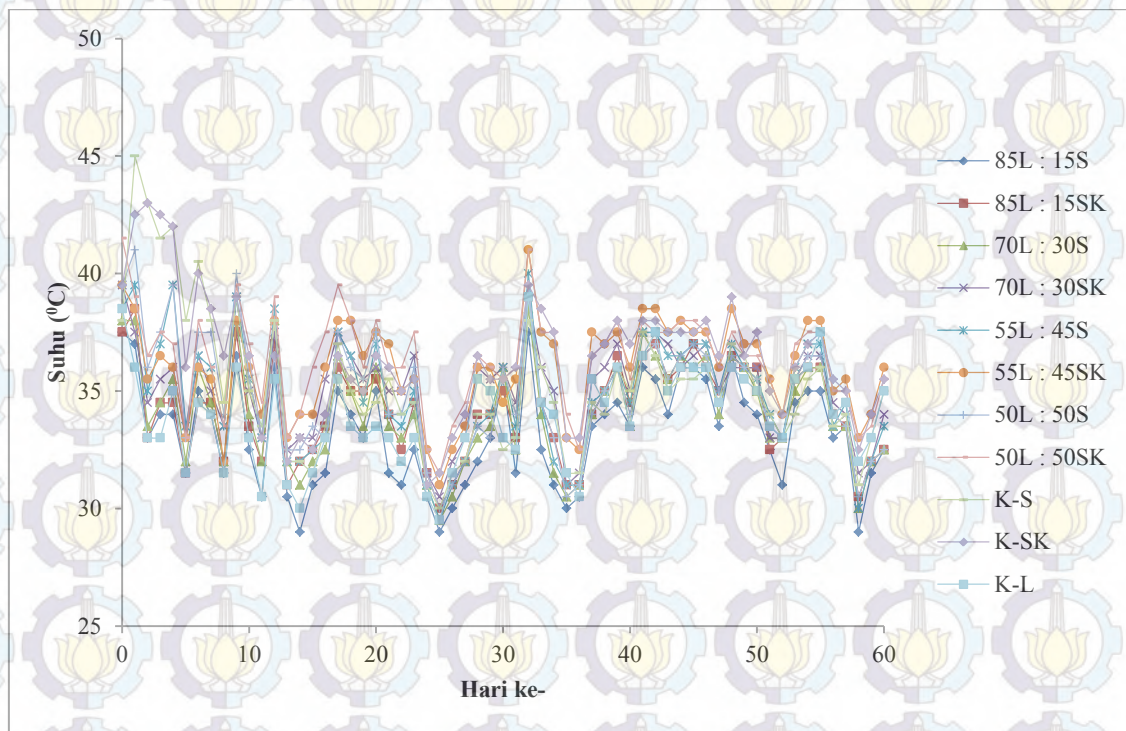
4.2. Hasil Analisis Kompos

Selama proses *co-composting* berlangsung, dilakukan analisis terhadap beberapa parameter. Parameter tersebut antara lain suhu, pH, kadar air, kandungan minyak, *volatile solid* (VS), dan TKN.

4.2.1. Suhu

Parameter suhu dianalisis setiap hari antara pukul 15.00 hingga 17.00 dengan menerapkan metode termometri. Pada awal proses *co-composting*, suhu di dalam reaktor berkisar antara 38-42°C (lihat Tabel 4. 1). Selama proses *co-composting* terjadi peningkatan dan penurunan suhu seperti pada Gambar 4. 1.

Berdasarkan hasil analisis, suhu selama proses *co-composting* berlangsung adalah antara 29-45°C. Kisaran suhu ini termasuk dalam kondisi mesofilik (20-45°C). Peningkatan suhu mengindikasikan adanya aktivitas mikroorganisme. Selama proses *co-composting*, mikroorganisme akan menguraikan substrat dan menghasilkan panas, sehingga terjadi peningkatan suhu. Peristiwa ini dapat terlihat pada semakin menurunnya nilai *volatile solid* (VS) sebagai substrat pada saat suhu berada di atas 35°C (lihat Lampiran B). Penurunan suhu yang terjadi disebabkan oleh penambahan air yang dilakukan setiap 5 hari sekali untuk mempertahankan kadar air di dalam reaktor. Selain itu, penurunan suhu juga terjadi akibat pengaruh turunnya suhu udara ambien setelah hujan pada hari ke-14, 24, 35, dan 52, 53, 58, dan 59.



Gambar 4. 1 Suhu selama Proses Co-composting

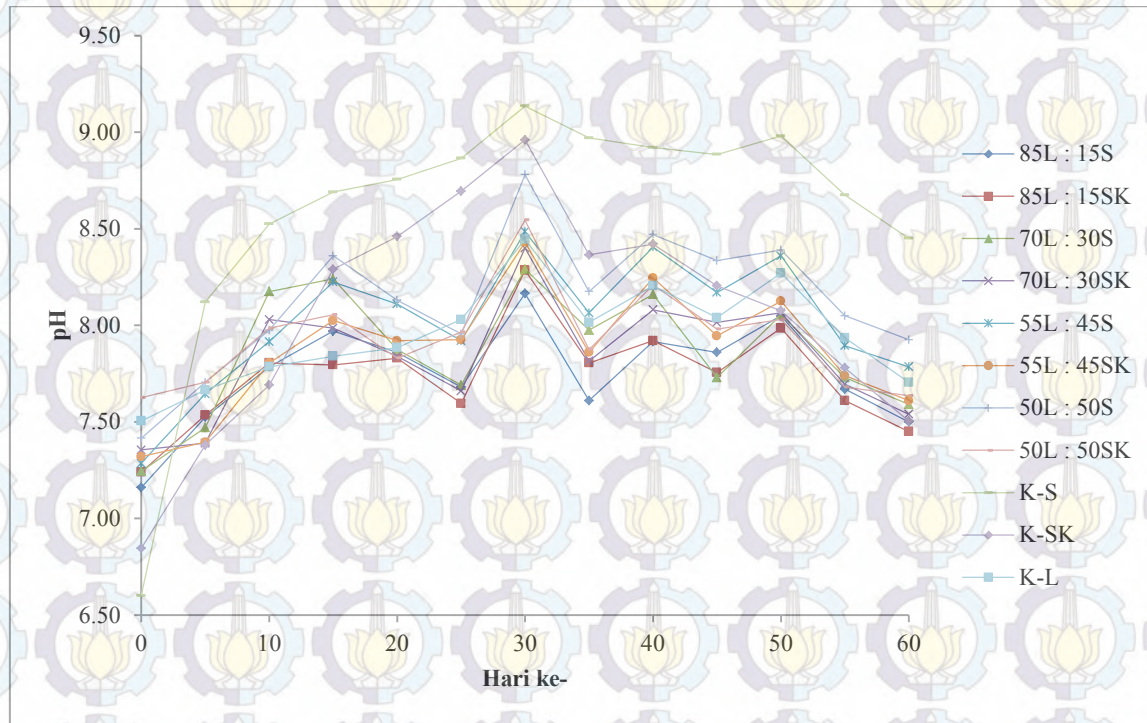
4.2.2. pH

Parameter pH dianalisis setiap 5 hari sekali dengan menerapkan metode elektrometrik. Sampel diambil dari masing-masing reaktor untuk kemudian diukur nilai pH-nya. Pada awal proses *co-composting*, pH di dalam reaktor berkisar antara 6,60-7,63 (lihat Tabel 4. 2). Gambar 4. 2 menunjukkan bahwa selama proses *co-composting* terjadi fluktuasi nilai pH.

Peningkatan nilai pH menandakan adanya peningkatan aktivitas mikroorganisme. Nilai pH yang meningkat disebabkan oleh peningkatan produksi NH_3 yang berasal dari hidrolisis molekul organik nitrogenous seperti protein (Abouelwafa dkk., 2008) dan mineralisasi nitrogen organik (Nolan dkk., 2011). Penurunan nilai pH selama proses *co-composting* terjadi sebagai akibat dari terbentuknya asam selama proses oksidasi alkana (Marin dkk., 2006). Selain itu, penurunan pH juga disebabkan oleh pembentukan nitrat sebagai hasil pelepasan H^+ selama nitrifikasi mikroba (Nolan dkk., 2011). Menurut Bernal dkk. (2009), aktivitas mikroorganisme berlangsung dengan baik pada kondisi pH 6,7-9, dan optimum pada pH 5,5-8. Berdasarkan hasil analisis, diketahui bahwa kondisi pH hingga hari ke-60 sudah semakin menurun mendekati netral dan cenderung stabil.

Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran pH

No.	Nama	pH pada Hari ke-												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1	85L : 15S	7.16	7.53	7.79	7.97	7.86	7.68	8.17	7.61	7.92	7.86	8.05	7.67	7.50
2	85L : 15SK	7.24	7.54	7.81	7.80	7.83	7.60	8.29	7.81	7.92	7.76	7.99	7.61	7.45
3	70L : 30S	7.25	7.47	8.18	8.24	7.88	7.69	8.29	7.98	8.16	7.73	8.06	7.73	7.59
4	70L : 30SK	7.36	7.39	8.03	7.99	7.84	7.66	8.40	7.82	8.08	8.02	8.07	7.70	7.54
5	55L : 45S	7.29	7.65	7.92	8.23	8.11	7.92	8.49	8.07	8.41	8.17	8.36	7.90	7.79
6	55L : 45SK	7.32	7.40	7.81	8.03	7.92	7.93	8.43	7.86	8.25	7.95	8.13	7.74	7.61
7	50L : 50S	7.42	7.71	7.98	8.36	8.13	7.96	8.78	8.18	8.47	8.34	8.39	8.05	7.93
8	50L : 50SK	7.63	7.71	7.99	8.06	7.83	7.97	8.55	7.88	8.21	7.98	8.03	7.68	7.64
9	K-S	6.60	8.12	8.53	8.69	8.76	8.87	9.14	8.97	8.92	8.89	8.98	8.68	8.45
10	K-SK	6.85	7.38	7.69	8.29	8.46	8.70	8.96	8.37	8.42	8.21	8.08	7.78	7.51
11	K-L	7.51	7.67	7.79	7.84	7.89	8.03	8.45	8.02	8.21	8.04	8.27	7.94	7.71



Gambar 4.2 pH selama Proses *Co-composting*

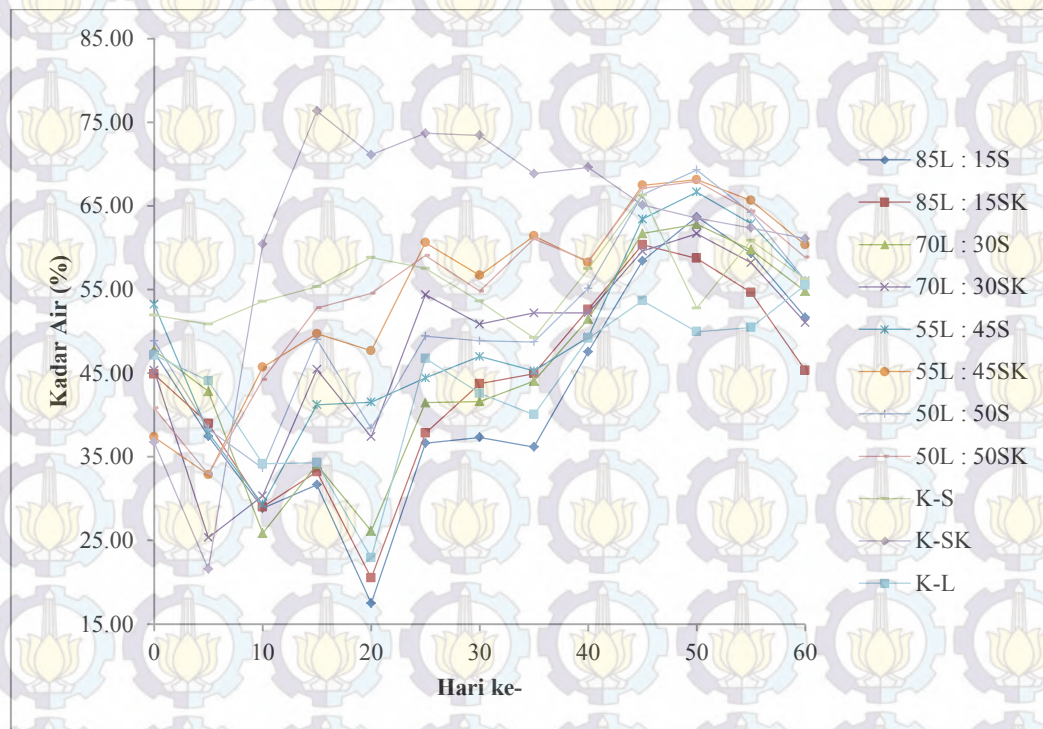
4.2.3. Kadar air

Parameter kadar air dianalisis setiap 5 hari sekali dengan menerapkan metode gravimetri. Pada awal proses *co-composting*, kadar air di dalam reaktor berkisar antara 36,74-53,21% (lihat Tabel 4. 3). Kadar air yang optimum untuk pengomposan berkisar antara 50-60% (Bernal dkk., 2009; Cooperband, 2002). Kondisi awal reaktor dengan kadar air di bawah optimum (<50%) mengakibatkan lambatnya proses degradasi.

Selama proses *co-composting* berlangsung, kadar air mengalami penurunan, seperti ditunjukkan oleh Gambar 4. 3. Penurunan kadar air ini disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme yang membutuhkan air untuk proses metabolisme, serta penguapan akibat peningkatan suhu. Peristiwa ini dapat terlihat pada menurunnya kadar air yang diimbangi dengan menurunnya nilai *volatile solid* (VS) sebagai substrat yang didegradasi melalui proses metabolisme (lihat Lampiran B). Penambahan air sebanyak 100-200 ml untuk setiap reaktor dilakukan mulai hari ke-10 dan setiap 5 hari untuk menjaga kadar air pada kondisi optimum. Hal ini dilakukan supaya tidak mengganggu proses degradasi oleh mikroorganisme. Pengadukan juga dilakukan saat penambahan air agar kadar air di dalam reaktor dapat merata. Penyemprotan air setiap harinya juga dilakukan untuk menjaga kadar air di bagian permukaan kompos yang lebih cepat kering akibat panas.

Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran Kadar Air

No.	Nama	Kadar Air (%) pada Hari ke-												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1	85L : 15S	47.51	37.45	28.85	31.66	17.48	36.64	37.31	36.16	47.57	58.42	63.69	59.32	51.66
2	85L : 15SK	44.87	38.96	29.00	33.20	20.52	37.82	43.74	44.95	52.62	60.35	58.72	54.65	45.34
3	70L : 30S	47.73	42.81	25.84	34.07	26.12	41.47	41.60	44.04	51.46	61.69	62.80	59.76	54.78
4	70L : 30SK	45.31	25.33	30.33	45.43	37.40	54.37	50.86	52.20	52.21	59.58	61.67	58.21	51.04
5	55L : 45S	53.21	37.84	29.31	41.23	41.52	44.42	46.98	45.26	49.30	63.41	66.66	62.89	56.02
6	55L : 45SK	37.36	32.85	45.71	49.71	47.67	60.60	56.70	61.40	58.24	67.46	68.12	65.66	60.34
7	50L : 50S	48.84	38.31	33.64	49.02	38.39	49.41	48.86	48.73	55.14	66.33	69.29	64.20	56.08
8	50L : 50SK	40.83	32.91	44.23	52.80	54.53	59.06	54.81	61.04	58.41	67.12	67.96	64.36	58.84
9	K-S	51.93	50.84	53.57	55.34	58.82	57.51	53.59	49.23	57.46	66.30	52.77	60.85	56.23
10	K-SK	36.74	21.57	60.41	76.33	71.12	73.68	73.44	68.85	69.60	65.11	63.54	62.36	61.07
11	K-L	47.15	44.08	34.16	34.29	22.91	46.76	42.59	40.04	49.16	53.68	49.96	50.45	55.52



Gambar 4. 3 Kadar Air selama Proses Co-composting

4.2.4. *Volatile Solid (VS)*

Parameter *volatile solid* (VS) dianalisis setiap 15 hari sekali dengan menerapkan metode gravimetri. Pada awal proses *co-composting*, VS di dalam reaktor berkisar antara 12,97-73,48% (lihat Tabel 4. 4). Besarnya *volatile solid* (VS) diasumsikan sebanding dengan besarnya C-organik yang terdapat dalam reaktor. C-organik paling rendah terdapat pada reaktor dengan varian K-L (kontrol lumpur), sedangkan C-organik paling tinggi terdapat pada reaktor dengan varian K-SK (kontrol campuran sampah basah rumah tangga dan kotoran ternak).

Selama proses *co-composting* berlangsung, kandungan C-organik berfluktuasi dengan kecenderungan menurun yang menunjukkan adanya proses degradasi. Pada proses degradasi, karbon dijadikan sebagai sumber energi untuk menyusun bahan selular sel-sel mikroorganisme dengan membebaskan CO₂, CH₄, dan bahan-bahan lain yang mudah menguap (Rao, 1994). Mikroorganisme melakukan aktivitas metabolisme dengan mengoksidasi karbon menjadi CO₂. Sisa karbon dikonversi ke dalam dinding sel atau membran, protoplasma, dan produk penyimpanan (Golueke, 1993). Selain itu, CO₂ juga dikonsumsi oleh bakteri penitrifikasi yaitu *Nitrobacter* dan *Nitrosomonas* karena sifatnya yang kemoautotrof dengan memanfaatkan CO₂ untuk pertumbuhannya, sehingga karbon yang terukur mengalami penurunan selama proses *co-composting*. Fluktuasi pada penurunan ini disebabkan oleh sifat heterogen dari bahan campuran yang dikomposkan di setiap reaktor, sehingga kecepatan degradasi oleh mikroorganisme pun tidak sama.

Tabel 4. 4 Hasil Pengukuran *Volatile Solid* (VS)

No.	Nama	VS (%) pada Hari ke-				
		0	15	30	45	60
1	85L : 15S	18.58	19.04	18.77	18.38	18.91
2	85L : 15SK	26.62	22.72	22.73	22.43	22.16
3	70L : 30S	22.63	23.03	22.10	21.35	21.48
4	70L : 30SK	35.66	30.19	30.17	29.98	29.69
5	55L : 45S	32.37	27.61	25.42	23.73	24.51
6	55L : 45SK	52.15	36.58	36.50	36.09	34.19
7	50L : 50S	37.08	28.39	28.90	27.54	27.16
8	50L : 50SK	45.58	38.38	35.85	35.73	36.06
9	K-S	63.44	47.11	50.54	37.78	42.01
10	K-SK	73.48	70.65	70.15	63.44	59.95
11	K-L	12.97	15.14	14.47	15.19	15.51

4.2.5. Nitrogen (TKN)

Parameter nitrogen (TKN) dianalisis setiap 15 hari sekali dengan menerapkan metode *Kjeldahl*. *Total Kjeldahl Nitrogen* (TKN) yang diukur meliputi N-organik dan ammonia. Pada awal proses *co-composting*, TKN di dalam reaktor berkisar antara 1,09-2,52% (lihat Tabel 4. 5). TKN paling rendah terdapat pada reaktor dengan varian 55L : 45SK, sedangkan TKN paling tinggi terdapat pada reaktor dengan varian 70L : 30SK.

Selama proses *co-composting* berlangsung, terjadi peningkatan dan penurunan TKN. Peningkatan yang terjadi menunjukkan adanya proses mineralisasi bahan organik selama proses *co-composting*. Menurut Contreras-Ramos (2004), peningkatan nitrogen pada proses pengomposan disebabkan oleh tingginya proses mineralisasi. Kenaikan nitrogen ini disebabkan

karena terjadinya proses mineralisasi lebih besar dibandingkan dengan proses volatilisasi ammonia dan imobilisasi. Menurut Bernal dkk. (2009), penurunan nitrogen disebabkan oleh volatilisasi ammonia. Hal ini didukung oleh analisis pH yang menunjukkan bahwa pH cenderung semakin meningkat setelah hari ke-15, yang menyebabkan hilangnya nitrogen (Bernal dkk., 2009 dan Baquerizo dkk., 2007).

Tabel 4. 5 Hasil Pengukuran TKN

No.	Nama	TKN (%) pada Hari ke-				
		0	15	30	45	60
1	85L : 15S	1.87	3.18	2.78	1.13	1.66
2	85L : 15SK	1.82	2.43	3.19	1.65	2.07
3	70L : 30S	2.36	2.94	2.91	2.25	2.18
4	70L : 30SK	2.52	2.18	2.29	2.53	2.74
5	55L : 45S	1.54	2.69	2.93	3.07	3.10
6	55L : 45SK	1.09	1.93	2.53	3.71	3.38
7	50L : 50S	2.30	1.28	2.09	2.82	3.49
8	50L : 50SK	1.43	1.99	2.16	3.50	2.87
9	K-S	1.53	4.07	4.40	4.47	5.54
10	K-SK	1.71	6.71	3.01	5.65	2.06
11	K-L	1.33	1.29	1.63	0.96	1.34

4.2.6. Rasio VS/N

Berdasarkan hasil pengukuran VS dan TKN, dapat diketahui rasio VS/N masing-masing reaktor. Pada Tabel 4. 6 dapat dilihat bahwa rasio VS/N cenderung mengalami penurunan. Hal ini berarti proses degradasi berjalan dengan baik hingga hari ke-60. Beberapa reaktor mengalami peningkatan rasio VS/N yang

disebabkan oleh proses penurunan material organik (karbon) yang tidak proporsional dengan nitrogen.

Tabel 4. 6 Hasil Pengukuran Rasio VS/N

No.	Nama	Rasio VS/N pada Hari ke-				
		0	15	30	45	60
1	85L : 15S	9.92	7.10	6.77	19.13	11.58
2	85L : 15SK	14.64	15.43	7.20	14.39	11.36
3	70L : 30S	9.88	12.58	7.73	9.54	10.77
4	70L : 30SK	14.24	15.50	13.84	11.90	11.19
5	55L : 45S	21.56	11.44	11.64	7.73	8.28
6	55L : 45SK	47.51	19.06	17.56	10.46	10.35
7	50L : 50S	16.69	22.52	14.38	10.54	8.20
8	50L : 50SK	36.07	20.19	16.79	10.21	14.79
9	K-S	46.64	11.60	11.86	8.66	8.06
10	K-SK	50.33	11.31	23.44	11.89	33.81
11	K-L	9.90	15.03	9.07	55.97	15.26

4.2.7. Kandungan Minyak

Analisis kandungan minyak pada campuran kompos dilakukan pada hari ke-60 untuk mengetahui hasil penyisihan polutan minyak yang terjadi selama proses *co-composting*. Kandungan minyak yang diukur merupakan minyak total yang terdapat dalam reaktor. Pada perhitungan, dilakukan koreksi untuk mengetahui kandungan minyak pada lumpur, dengan asumsi tidak terjadi pengaruh toksisitas dari minyak dan senyawa lainnya yang terdapat di dalam limbah lumpur berminyak. Koreksi yang dilakukan adalah dengan mengurangi kandungan minyak total dengan kandungan minyak pada campuran kompos,

sehingga diperoleh kandungan minyak pada lumpur (lihat Lampiran B).

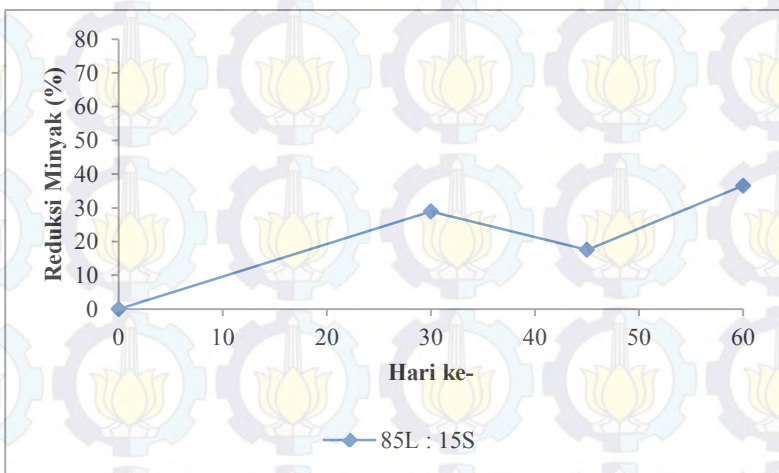
Gambar 4. 4 - Gambar 4. 7 menunjukkan bahwa pada komposisi 85% lumpur : 15% sampah dan 70% lumpur : 30% sampah, reaktor dengan campuran sampah basah rumah tangga dan kotoran ternak (SK) memiliki nilai penyisihan polutan minyak lebih besar dibandingkan reaktor dengan campuran hanya sampah basah rumah tangga (S). Pada reaktor dengan komposisi 85% lumpur : 15% sampah, varian campuran kompos berupa sampah basah rumah tangga mampu menyisihkan 37% polutan minyak, sedangkan varian campuran kompos berupa sampah basah rumah tangga dan kotoran ternak mampu menyisihkan 41% polutan minyak. Pada reaktor dengan komposisi 70% lumpur : 30% sampah, varian campuran kompos berupa sampah basah rumah tangga mampu menyisihkan 53% polutan minyak, sedangkan varian campuran kompos berupa sampah basah rumah tangga dan kotoran ternak mampu menyisihkan 62% polutan minyak. Menurut Varma dan Kalamdhad (2013), karbon dalam kotoran ternak lebih banyak tersedia, sehingga karbon dalam reaktor SK lebih banyak dibandingkan reaktor S. Bernal dkk. (2009) menyebutkan mikroorganisme membutuhkan sumber energi (C-organik *degradable*) dan N untuk berkembang dan beraktivitas. Karbon yang lebih tersedia pada reaktor SK menyebabkan mikroorganisme menjadi aktif untuk mendegradasi sampah sebagai substrat sekaligus mendegradasi lumpur sebagai ko-substrat, sehingga lumpur yang ikut terdegradasi pada reaktor SK lebih banyak dibandingkan reaktor S.

Gambar 4. 8 - Gambar 4. 11 menunjukkan kondisi yang berbeda. Pada komposisi 55% lumpur : 45% sampah dan 50% lumpur : 50% sampah, nilai penyisihan polutan minyak yang lebih besar terjadi pada campuran kompos berupa sampah basah

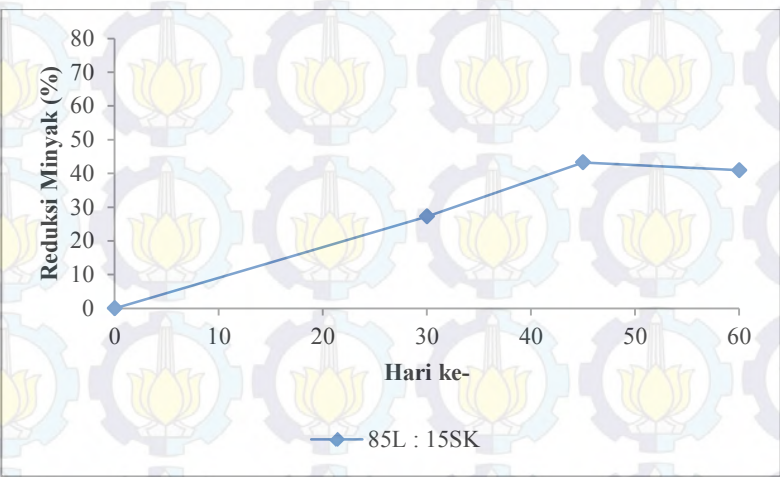
rumah tangga. Pada reaktor dengan komposisi 55% lumpur : 45% sampah, varian campuran kompos berupa sampah basah rumah tangga mampu menyisihkan 72% polutan minyak, sedangkan varian campuran kompos berupa sampah basah rumah tangga dan kotoran ternak mampu menyisihkan 68% polutan minyak. Pada reaktor dengan komposisi 50% lumpur : 50% sampah, varian campuran kompos berupa sampah basah rumah tangga mampu menyisihkan 68% polutan minyak, sedangkan varian campuran kompos berupa sampah basah rumah tangga dan kotoran ternak mampu menyisihkan 63% polutan minyak. Hal ini terjadi karena karbon yang terdapat pada reaktor SK terlampau banyak, sehingga mikroorganisme cenderung mendegradasi sampah sebagai substrat yang lebih mudah didegradasi dibandingkan mendegradasi lumpur sebagai ko-substrat. Berdasarkan hasil penelitian, diketahui nilai penyisihan polutan minyak paling besar terjadi pada reaktor dengan komposisi 55% lumpur dan 45% sampah basah rumah tangga, yakni 72%.

Pada penelitian ini, dilakukan variasi terhadap komposisi lumpur dan sampah serta variasi terhadap campuran kompos yang digunakan. *Analysis of variance* (ANOVA) dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing variasi terhadap besarnya nilai penyisihan polutan minyak. Berdasarkan hasil ANOVA, diketahui nilai signifikansi komposisi lumpur dan sampah terhadap nilai penyisihan polutan minyak adalah 0.006. Apabila nilai signifikansi (sig.) kurang dari 0.05, maka variabel tersebut berpengaruh signifikan terhadap parameter yang diuji. Hal ini berarti, komposisi lumpur dan sampah berpengaruh signifikan terhadap besarnya nilai penyisihan polutan minyak. Akan tetapi, berdasarkan analisis lanjutan menggunakan Analisis Tukey, diketahui bahwa perbedaan paling signifikan hanya terjadi pada reaktor dengan komposisi 85% lumpur : 15% sampah.

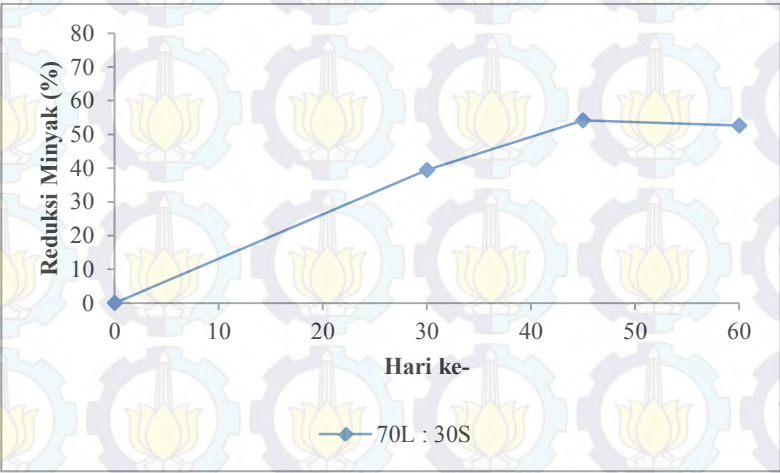
Reaktor dengan komposisi 70% lumpur : 30% sampah, 55% lumpur : 45% sampah, dan 50% lumpur : 50% sampah tidak memiliki perbedaan yang cukup signifikan. ANOVA juga dilakukan pada variabel campuran kompos. Berdasarkan hasil ANOVA, diketahui nilai signifikansi campuran kompos terhadap nilai penyisihan polutan minyak adalah 0.923. Hal ini berarti, campuran kompos tidak berpengaruh signifikan terhadap besarnya nilai penyisihan polutan minyak. Dari keseluruhan hasil ANOVA tersebut, dapat disimpulkan bahwa nilai penyisihan polutan minyak tidak berpengaruh signifikan pada reaktor dengan komposisi 70% lumpur : 30% sampah, 55% lumpur : 45% sampah, dan 50% lumpur : 50% sampah, serta tidak berpengaruh signifikan pada campuran kompos berupa sampah basah rumah tangga (S) atau campuran sampah basah rumah tangga dan kotoran ternak (SK).



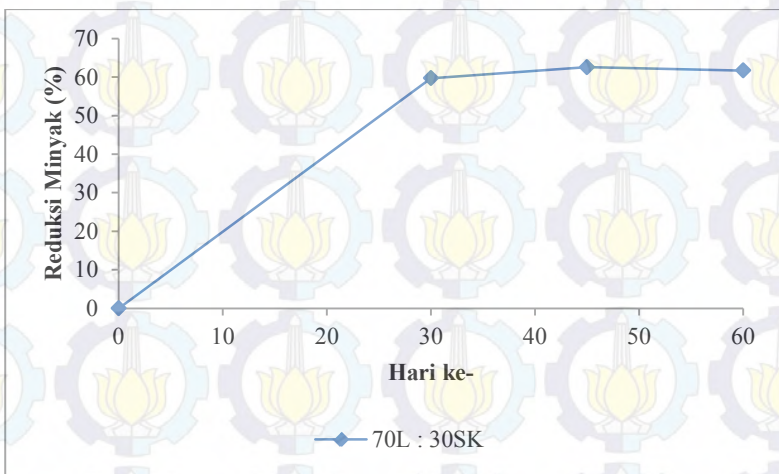
Gambar 4. 4 Penyisihan Minyak pada Lumpur Reaktor 85L : 15S



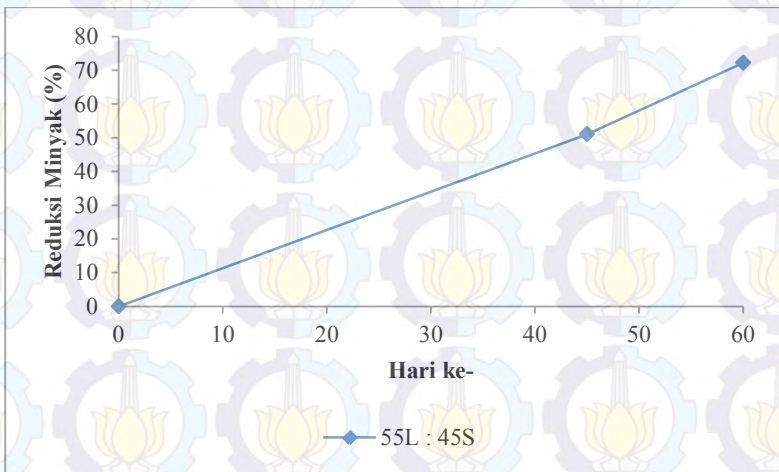
Gambar 4. 5 Penyisihan Minyak pada Lumpur Reaktor 85L : 15SK



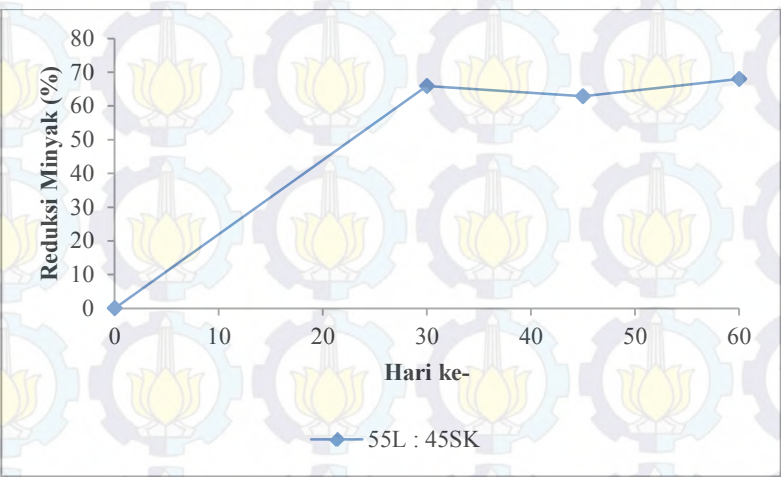
Gambar 4. 6 Penyisihan Minyak pada Lumpur Reaktor 70L : 30S



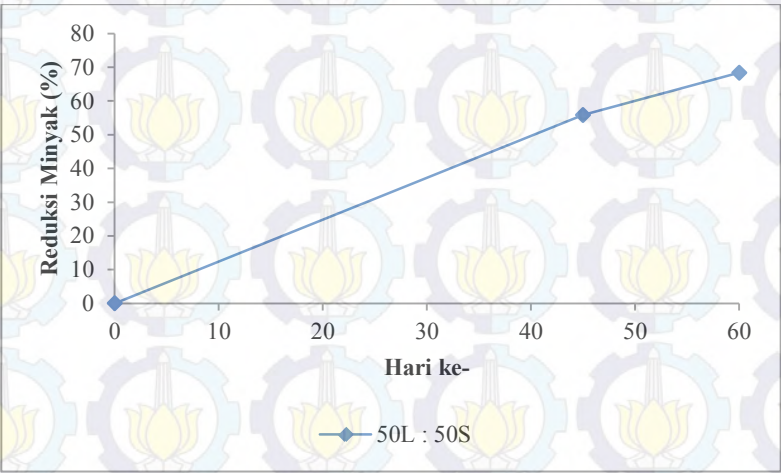
Gambar 4. 7 Penyisihan Minyak pada Lumpur Reaktor 70L : 30SK



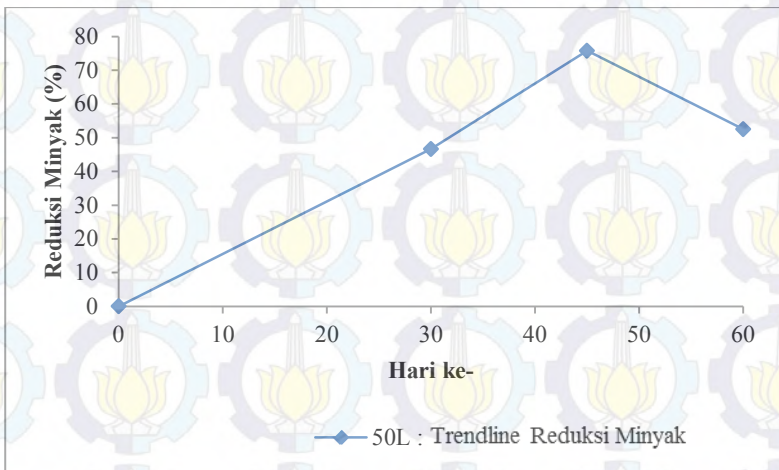
Gambar 4. 8 Penyisihan Minyak pada Lumpur Reaktor 55L : 45S



Gambar 4. 9 Penyisihan Minyak pada Lumpur Reaktor 55L : 45SK



Gambar 4. 10 Penyisihan Minyak pada Lumpur Reaktor 50L : 50S



Gambar 4. 11 Penyisihan Minyak pada Lumpur Reaktor 50L : 50SK

Berdasarkan Gambar 4. 4 - Gambar 4. 11, diketahui reduksi minyak hingga hari ke-60 berkisar antara 34-71%. Sementara itu, berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Kriipsalu dkk. (2007) terhadap biodegradasi aerobik lumpur berminyak dari IPAL kilang minyak, reduksi *total petroleum hydrocarbons* (TPH) sebesar 62%, 51%, 74%, dan 49% untuk timbunan pengomposan dengan campuran pasir, kompos minyak matang, kompos sampah dapur, dan cacahan sampah kayu diperoleh setelah dilakukan pengolahan selama 373 hari. Tingginya perbedaan hasil penelitian ini dengan hasil penelitian Kriipsalu dkk. (2007) disebabkan oleh perbedaan pelarut yang digunakan pada saat proses ekstraksi. Pada penelitian ini digunakan pelarut berupa kloroform (CHCl_3), sedangkan seharusnya digunakan n-heksana sebagaimana dilakukan pada penelitian Kriipsalu dkk. (2007).

Prinsip kelarutan dalam proses ekstraksi adalah “*likes dissolve likes*” (Ophardt, 2003). Prinsip ini berarti senyawa yang

bersifat ionik dan polar larut dalam pelarut polar, dan senyawa yang bersifat non-polar larut dalam pelarut non-polar. Alkana yang terkandung dalam limbah lumpur berminyak pada penelitian ini bersifat non-polar, sehingga untuk melarutkannya seharusnya digunakan pelarut yang juga bersifat non-polar, yakni n-heksana yang memiliki indeks polaritas 0,0 (Sadek, 2002).

Kloroform memiliki indeks polaritas 4,1 (Sadek, 2002), sehingga bersifat semi-polar dan tidak melarutkan alkana dengan cukup baik. Senyawa yang larut oleh kloroform antara lain alkil halida, ester, aldehid dan keton, amina, alkohol, amida, dan asam karboksilat (Ophardt, 2003; Sadek, 2002). Oleh karena itu, tingkat reduksi yang terukur adalah reduksi dari senyawa-senyawa yang larut oleh kloroform, dan hanya sebagian alkana yang terdapat pada limbah lumpur berminyak. Guna menghindari terjadinya kesalahan sejenis, disarankan agar dalam melakukan ekstraksi hasil biodegradasi limbah lumpur berminyak digunakan pelarut dengan indeks polaritas rendah seperti heksana dan petroleum ether (Sadek, 2002).

4.3. Aplikasi Teknologi *Co-composting*

Berdasarkan hasil penelitian ini serta penelitian lainnya (Kriipsalu dkk., 2007; Liu, dkk., 2010; Ouyang dkk., 2005; Wang dkk., 2012), diketahui bahwa metode *co-composting* dapat menyisihkan polutan minyak. Pada penerapan di lapangan, diperlukan persyaratan rancang bangun dan fasilitas penunjang yang harus dipenuhi dalam proses pengolahannya. Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup nomor 128 tahun 2003 tentang Tata Cara dan Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi oleh Minyak Bumi secara Biologis, yang dimaksud dengan limbah minyak bumi

adalah sisa atau residu minyak yang terbentuk dari proses pengumpulan dan pengendapan kontaminan minyak yang terdiri atas kontaminan yang sudah ada di dalam minyak, maupun kontaminan yang terkumpul dan terbentuk dalam penanganan suatu proses dan tidak dapat digunakan kembali dalam proses produksi. Limbah lumpur berminyak pada penelitian ini tergolong ke dalam limbah minyak bumi, sehingga persyaratan tempat pengolahannya adalah sebagai berikut:

1. Persyaratan umum:

- a. daerah bebas banjir
- b. bukan daerah genangan air sepanjang tahun
- c. bukan merupakan aliran sungai *intermittent*
- d. bukan daerah resapan atau sumber mata air
- e. bukan daerah yang dilindungi
- f. jauh dari lokasi pemukiman berjarak minimum 300 meter
- g. sesuai dengan tata ruang yang sudah ditentukan
- h. kondisi hidrogeologi memenuhi ketentuan:
 - struktur geologi bersifat stabil
 - lokasi pengolahan terletak di lahan datar atau dengan kemiringan maksimum 12%
 - kedalaman air tanah di lokasi tersebut minimum 4 meter dari lapisan terbawah unit pengolahan
 - tekstur tanah tidak memiliki porositas yang tinggi (lahan dengan tekstur tanah berpasir sebaiknya tidak digunakan sebagai lokasi pengolahan)

2. Persyaratan lain:

- a. melakukan pengkajian terhadap kondisi awal lahan (*background* atau *baseline*) dari lokasi yang akan dibangun unit pengolahan termasuk data kandungan TPH dan logam berat pada sampel tanah dan air tanah
- b. lahan unit pengolahan terkonsentrasi pada satu area (tidak tersebar)
- c. menentukan tata letak lokasi pada peta termasuk titik koordinat posisi dari unit pengolahan
- d. pada kondisi lokasi lahan terkontaminasi terletak di area permukaan tanah, maka pengolahan secara in-situ memungkinkan untuk diterapkan dengan mempertimbangkan kondisi hidrogeologi, air tanah dan lingkungan yang aman sesuai dengan persyaratan lahan pengolahan
- e. pada kondisi lokasi lahan terkontaminasi berada di daerah yang dilarang seperti yang tercantum di dalam persyaratan lahan umum atau tidak sesuai dengan persyaratan lahan pengolahan, maka limbah harus dipindahkan dan dilakukan pengolahan secara ek-situ.

Selain persyaratan untuk tempat pengolahan, terdapat persyaratan untuk fasilitas pengolahan limbah minyak bumi secara biologis, antara lain:

1. Rancang bangun

- a. di atas tanah unit tempat pengolahan dilapisi tanah lempung dengan ketebalan minimum 60 cm setelah dipadatkan dan memenuhi batas permeabilitas (K) minimum adalah 10^{-5} cm/detik

- b. lahan dengan permeabilitas (K) lebih besar dari 10^{-5} cm/detik harus dilengkapi dengan bahan pelapis tambahan berupa HDPE (*high density polyethylene*) dengan ketebalan minimum 1,5 mm atau bahan pelapis lainnya yang memenuhi persyaratan
- c. saluran drainase dirancang di sekeliling unit lokasi pengolahan untuk mengontrol larinya air luapan
- d. arah aliran air luapan tersebut diatur sehingga aliran menuju ke kolam penampungan
- e. konstruksi saluran drainase dan kolam penampung air luapan harus kedap air dan mampu mengakomodasikan volume curah hujan maksimum
- f. tanggul dibangun di sekeliling unit lokasi pengolahan untuk mencegah luapan air hujan yang masuk pada waktu curah hujan tertinggi (jika saluran drainase tidak mencukupi luapan air hujan)
- g. sumur pantau air tanah dipasang minimum 2 (dua) buah yang terletak secara representatif di daerah hulu dan hilir dari unit lokasi pengolahan yang disesuaikan dengan arah aliran air tanah
- h. sumur pantau air tanah tidak diperlukan jika data hidrogeologis mendukung terjaminnya permeabilitas yang sangat rendah, baik dari segi kedalaman air tanah maupun struktur geologi lahan
- i. pagar pengaman atau pembatas di sekeliling lokasi unit pengolahan dipasang untuk menghindari masuknya pihak yang tidak berkepentingan
- j. tanda-tanda peringatan dipasang untuk menjaga aspek keselamatan dan keamanan yang mencakup hal-hal sebagai berikut:

- lokasi pengolahan limbah minyak bumi secara biologis
- dilarang masuk bagi yang tidak berkepentingan
- pemakaian alat pelindung diri yang sesuai dengan standar keselamatan kerja
- atau tanda lain yang dianggap perlu

2. Kelengkapan lain:

- a. untuk menunjang proses pengolahan, maka peralatan-peralatan yang digunakan untuk pencampuran dan pengadukan harus tersedia setiap saat diperlukan
- b. proses pengolahan perlu dilengkapi prosedur kerja tertulis tentang tata laksana operasional pengolahan, pemantauan dan pengawasan
- c. mempunyai sistem penanggulangan keadaan darurat jika terjadi kebocoran atau tumpahan dari unit pengolahan
- d. memiliki alat perlengkapan keselamatan bagi pekerja yang melakukan kegiatan operasional pada unit pengolahan.

Pengolahan dengan metode *co-composting* ini dapat dilakukan dengan dua alternatif, yakni metode *trench* atau *in-vessel composting*. Metode *trench* (Gambar 4. 12) menerapkan sistem *landfilling*, dimana metode ini dapat diterapkan jika kedalaman material penutup cukup tersedia dan muka air tidak dekat dengan permukaan (Tchobanoglous dkk., 1993). Dengan timbulan lumpur sebesar 73 drum/tahunnya, maka diperoleh dimensi area pengolahan untuk metode *trench* sebagai berikut:

Timbulan lumpur = 73 drum/tahun
 1 drum diasumsikan sebanyak 200 L, sehingga:

Timbulan lumpur = 73 drum/tahun x 200 L
 = 14600 L/tahun

dari hasil pengukuran pada saat penelitian, diketahui:

Berat jenis lumpur = 7.002 kg/5L
 (kadar air 50%)

= 1.40 kg/L

Berat jenis sampah = 1.003 kg/2.5L
 (kadar air 50%)

= 0.40 kg/L

1 area pengolahan (*trench*) diasumsikan memiliki umur pakai 1 tahun, sehingga dengan komposisi optimum 55% lumpur : 45% sampah (berdasarkan berat basah), diperoleh perhitungan:

Volume lumpur = 14600 L

Volume sampah = 41695.95 L

Volume *trench* = volume lumpur + volume sampah

= 56295.95 L

= 56.30 m³

Kedalaman *trench* = 3 feet

= 0.9144 m

≈ 1 m

Luas permukaan *trench* = 56.30 m²

perbandingan panjang : lebar = 1 : 1

lebar *trench* = $\sqrt{\text{luas permukaan } trench}$

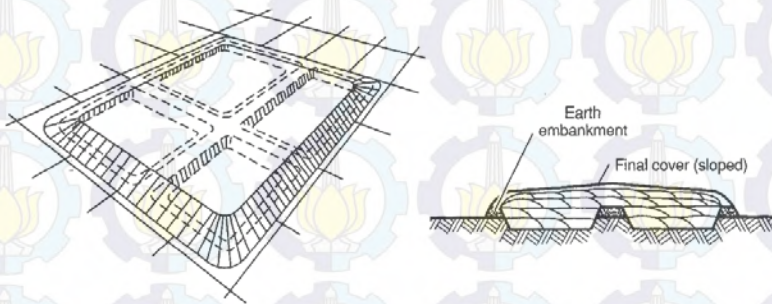
= 7.50 m

panjang *trench* = lebar *trench*

= 7.50 m

Pada metode *trench*, dilakukan aerasi melalui pipa yang terdapat di dasar *trench* untuk menciptakan kondisi aerobik. Apabila dipandang tidak ekonomis, maka metode *trench* dapat

diterapkan tanpa aerasi atau secara anaerobik. Liu dkk. (2013) membuktikan bahwa proses biodegradasi anaerobik mampu menyisihkan polutan minyak sebesar 350 mg/L menjadi 124 mg/L selama 30 hari.



Gambar 4. 12 Aplikasi Co-composting dengan Metode Trench
(Tchobanoglous dkk., 1993)

Metode *in-vessel* merupakan proses *co-composting* yang dilakukan di dalam suatu reaktor tertutup. Reaktor yang digunakan adalah *rotary drum*. Reaktor ini berbentuk tabung yang dapat berputar untuk pengadukan dan pemasukan udara agar reaktor tetap dalam kondisi aerobik. Dengan timbulan lumpur sebesar 73 drum/tahunnya, maka diperoleh dimensi *rotary drum* untuk metode *in-vessel* sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Timbulan lumpur} &= 73 \text{ drum/tahun} \\
 1 \text{ drum diasumsikan sebanyak } 200 \text{ L, sehingga:} \\
 \text{Timbulan lumpur} &= 73 \text{ drum/tahun} \times 200 \text{ L} \\
 &= 14600 \text{ L/tahun} \\
 &= 1216.67 \text{ L/bulan}
 \end{aligned}$$

dari hasil pengukuran pada saat penelitian, diketahui:

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis lumpur} &= 7.002 \text{ kg/5L} \\
 (\text{kadar air } 50\%) &= 1.40 \text{ kg/L}
 \end{aligned}$$

$$\text{Berat jenis sampah (kadar air 50\%)} = 1.003 \text{ kg/2.5L}$$

$$= 0.40 \text{ kg/L}$$

1 reaktor digunakan untuk menampung timbunan lumpur selama 1 bulan, sehingga dengan komposisi optimum 55% lumpur : 45% sampah (berdasarkan berat basah), diperoleh perhitungan:

$$\text{Volume lumpur} = 1216.67 \text{ L}$$

$$\text{Volume sampah} = 3474.66 \text{ L}$$

$$\text{Volume reaktor} = \text{volume lumpur} + \text{volume sampah}$$

$$= 4691.33 \text{ L}$$

$$= 4.69 \text{ m}^3$$

$$\text{Diameter reaktor} = 1.5 \text{ m}$$

$$\text{Panjang reaktor} = \frac{\text{volume reaktor}}{\frac{1}{4}\pi D^2}$$

$$= 2.65 \text{ m}$$

$$\approx 3 \text{ m}$$

Berdasarkan hasil penelitian ini, diketahui bahwa hingga hari ke-60, kompos yang terbentuk belum matang. Jika proses *co-composting* diasumsikan berlangsung selama ± 120 hari, maka jumlah reaktor yang dibutuhkan adalah:

$$\text{Jumlah reaktor} = \frac{\text{lamanya pengomposan}}{\text{lamanya timbunan yang dihasilkan}} + 1$$

$$= \frac{120 \text{ hari}}{30 \text{ hari}} + 1$$

$$= 5 \text{ reaktor}$$



Gambar 4. 13 Aplikasi *Co-composting* dengan Metode *In-vessel*
(www.thepoultrysite.cn)

Aplikasi dari metode *co-composting* pada pengolahan lumpur berminyak memiliki keunggulan, diantaranya:

1. Mengolah polutan minyak menjadi produk yang tidak berbahaya (CO_2 dan H_2O) melalui proses biodegradasi. Proses biodegradasi yang terjadi mengubah alkana menjadi alkohol, alkohol menjadi aldehid, dan aldehid menjadi asam lemak. Asam lemak yang terbentuk kemudian mengalami proses beta-oksidasi membentuk asetil ko-enzim A. Asetil ko-enzim A ini selanjutnya memasuki rangkaian siklus Krebs dan transport elektron yang menghasilkan CO_2 dan H_2O (Gaudy dan Gaudy, 1980).
2. Apabila terdapat logam berat di dalam lumpur berminyak yang dihasilkan, logam berat tersebut dapat diadsorpsi oleh kompos yang dicampurkan pada proses *co-composting* (Al-Mashaqbeh dan McLaughlan, 2014; Paradelo dan Barral, 2012).

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan:

1. Proses *co-composting* limbah lumpur berminyak dan sampah serta kotoran ternak menunjukkan terjadinya biodegradasi. Hal ini dibuktikan dengan peningkatan suhu, peningkatan nilai pH, penurunan kadar air, penurunan *volatile solid* (VS), dan peningkatan nitrogen dalam bentuk N-organik dan ammonia sebagai hasil dari proses degradasi. Setelah proses *co-composting* berlangsung selama 60 hari, penyisihan polutan minyak paling tinggi terjadi pada reaktor uji dengan perbandingan 55% lumpur dan 45% sampah basah rumah tangga, yakni sebesar 72%.
2. Aplikasi *co-composting* di lapangan dapat dilakukan dengan metode *trench* atau metode *in-vessel* menggunakan *rotary drum*. Jika menggunakan metode *trench*, maka diperlukan area pengolahan dengan panjang 7.50 meter dan lebar 7.50 meter untuk umur pakai satu tahun. Jika menggunakan metode *in-vessel*, maka diperlukan lima reaktor *rotary drum* dengan diameter 1.5 meter dan panjang 3 meter dan diasumsikan proses *co-composting* berlangsung selama 120 hari.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya, antara lain:

1. Proses ekstraksi polutan minyak harus menggunakan pelarut yang bersifat non-polar agar diperoleh hasil yang tepat.
2. Variasi terhadap rasio C/N dapat dilakukan untuk mengetahui lebih lanjut kondisi optimum untuk pengolahan limbah lumpur berminyak dengan metode *co-composting*.
3. Pengukuran jumlah dan jenis mikroorganisme dapat dilakukan untuk mengetahui peranan mikroorganisme tertentu dalam pengolahan limbah lumpur berminyak dengan metode *co-composting*.
4. Pengaturan jumlah air yang harus ditambahkan perlu diperhatikan agar kadar air tetap pada kondisi optimum.

DAFTAR PUSTAKA

- Abouelwafa, R., Baddi, G. A., Souabi, S., Winterton, P., Cegarra, J., Hafidi, M. (2008), “Aerobic Biodegradation of Sludge from The Effluent of a Vegetable Oil Processing Plant Mixed with Household Waste: Physical-Chemical, Microbiological, and Spectroscopic Analysis”, *Bioresource Technology*, Vol. 99, hal. 8571-8577.
- Al-Mashaqbeh, O. A. dan McLaughlan, R. G. (2014), “Effect of Compost Aging on Zinc Adsorption Characteristics”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol. 2, hal. 392-397.
- APHA, AWWA, dan WEF (1998), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th Edition, Washington D.C.
- Babyranidevi, S. dan Bhoyar, R. V. (2003), “Feasibility of Some Treatment for Improving The Composting of Municipal Solid Waste”, *Indian Journal of Environmental Health*, Vol. 45, No. 3, hal. 231-234.
- Baquerizo, G., Gamisans, X., Gabriel, D., Lafuente, J. (2007). “A Dynamic Model for Ammonia Abatement by Gas-Phase Biofiltration Including pH and Leachate Modelling”, *Biosystems Engineering*, Vol. 97, hal. 431–440.
- Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., Moral, R. (2009), “Composting of Animal Manures and Chemical Criteria for Compost Maturity Assessment, A Review”, *Bioresource Technology*, Vol. 100, hal. 5444-5453.

Chokshi, B. G. (2003), *Microbial Biodegradation of Hydrocarbons in Petroleum Sludge Wastes*, Faculty of California Polytechnic State University, San Luis Obispo.

Contreras-Ramos, S. M., Alvarez-Bernal, D., Trujillo-Tapia, N., Dendooven, L. (2004), "Composting of Tannery Effluent with Cow Manure and Wheat Straw", *Bioresource Technology*, Vol. 94, hal. 223-228.

Cooperband, L. (2002), *The Art and Science of Composting, A Resource for Farmers and Compost Producers*, Center for Integrated Agriculture Systems, University of Wisconsin-Madison.

Dinis, M. A. P. (2010), *Co-Composting: A Brief Review*, University Fernando Pessoa, Portugal.

Gaudy, A. F. dan Gaudy, E. T. (1980), *Microbiology for Environmental Scientists and Engineers*, McGraw-Hill Book Company, New York.

Godoy-Faundez, A., Antizar-Ladislao, B., Reyes-Bozo, L., Camano, A., Saez-Navarrete, C. (2008), "Bioremediation of Contaminated Mixtures of Deser Mining Soil and Sawdust with Fuel Oil by Aerated In-Vessel Composting in The Atacama Region (Chile)", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 151, hal. 649-657.

Golueke, G. C., Luis, F. D., George, M. S., Linda, L. E. (1993), *Composting and Recycling Municipal Solid Waste*, Cal Recovery Inc. Hercules, California, Lewis Publishers-Boca Raton Ann Arbor London-Tokyo.

Hu, G., Li, J., Zeng, Q. (2013), "Recent Development in The Treatment of Oily Sludge from Petroleum Industry: A Review", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 261, hal. 470-490.

Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup (2003), *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 128 tahun 2003*, Indonesia.

Kriipsalu, M. dan Nammari, D. (2009), "Monitoring of Biopile Composting of Oily Sludge", *Waste Management and Research*, Vol. 28, hal. 395-403.

Kriipsalu, M., Marques, M., Nammari, D. R., Hogland, W. (2007), " Biotreatment of Oily Sludge: The Contribution of Amendment Material to The Content of Target Contaminants, and The Biodegradation Dynamics", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 148, hal. 616-622.

Lei, A. P., Hu, Z. L., Wong, Y. S., Tam, N. F. Y. (2007), "Removal of Fluoranthene and Pyrene by Different Microalgal Species", *Bioresource Technology*, Vol. 98, hal. 273-280.

Liu, W., Li, Y., Li, G., Ni, W. (2013), "Facultative Anaerobic Copmposting for the Oil Sludge", *Advances in Environmental Protection 环境保护前沿*, Vol. 3, hal. 52-55.

Liu, W., Luo, Y., Teng, Y., Li, Z., Ma, L. Q. (2010), "Bioremediation of Oily Sludge-Contaminated Soil by Stimulating Indigenous Microbes", *Environmental Geochemical Health*, Vol. 32, hal. 23-29.

- Ma, Z. (1998), *Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon Contaminated Soil Using Indigenous Cultures*, Faculty of Engineering and Applied Science, Memorial University of Newfoundland.
- Marin, J. A., Moreno, J. L., Hernandez, T., Garcia, C. (2006), "Bioremediation by Composting of Heavy Oil Refinery Sludge in Semiarid Conditions", *Biodegradation*, Vol. 17, hal. 251-261.
- Nolan, T., Troy, S. M., Healy, M. G., Kwapinski, W., Leahy, J. J., Lawlor, P. G. (2011), "Characterization of Compost Produced from Separated Pig Manure and Variety of Bulking Agents at Low Initial C/N Ratios", *Bioresource Technology*, Vol. 102, hal. 7131-7138.
- Ophardt, C. E. (2003), *Virtual Chembook*, Elmhurst College, Illinois, <http://www.elmhurst.edu/~chm/vchembook/index.html>.
- Ouyang, W., Liu, H., Murygina, V., Yu, Y., Xiu, Z., Kalyuzhnyi, S. (2005), "Comparison of Bio-augmentation and Composting for Remediation of Oily Sludge: A Field-scale Study in China", *Process Biochemistry*, Vol. 40, hal. 3763-3768.
- Paradelo, R. dan Barral, M. T. (2012), "Evaluation of the Potential Capacity as Biosorbents of Two MSW Composts with Different Cu, Pb, and Zn Concentrations", *Bioresource Technology*, Vol. 104, hal. 810-813.
- Peraturan Pemerintah (1999), *Lampiran PP nomor 85 tahun 1999*, Indonesia.

- Polprasert, C. (2007), *Organic Waste Recycling: Technology and Management*, Chichester, 3ed. Wiley.
- Rao, N. S. Subba, (1994), *Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman*, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
- Sadek, P. C. (2002), *The HPLC Solvent-Guide*, Wiley-Interscience.
- Saithep, N., Dheeranupatana, S., Sumrit, P., Jeerat, S., Boonchalearmkit, S. (2009), "Composting of Tobacco Plant Waste by Manual Turning and Forced Aeration System", *Maejo International Journal of Science and Technology*, Vol. 3(2), hal. 248-260.
- Stoner, D. L. (1994), *Biotechnology for the Treatment of Hazardous Waste*, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- Sweeten, J. M. dan Auvermann, B. W. (2008), "Composting Manure and Sludge", *Agrilife Extension*, Vol. E-479, hal. 06-08.
- Tanpanich, S. R., Chindachia, Duriyaprapan, S. (2009), "Rate of Composting and Quality of Compost Under Different Passively Aerated Composting", *KKU Science Journal*, Vol. 37, hal. 153-161.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S. A. (1993), *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*, McGraw-Hill, International Editions, New York.
- Theresa, M. I., Milind, V., Evangelyn, K., Alocilja, C. (2007), "Aerobik In-Vessel Composting Versus Bioreactor

Landfilling Using Life Cycle Inventory Models”, *Clean Technology Environmental Policy*, Vol. 10, hal. 39-52.

Varma, S. V. dan Kalamdhad, A. S. (2013), “Composting of Municipal Solid Waste (MSW) Mixed with Cattle Manure”, *International Journal of Environmental Science*, Vol. 3, No. 6, hal. 2068-2079.

Wang, W. (2008), *Toxicity Assessment of PAHs and Metals to Bacteria and The Roles of Soil Bacteria in Phytoremediation of Petroleum Hydrocarbons*, University of Waterloo, Canada.

Wang, X., Wang, Q. H., Wang, S. J., Li, F. S., Guo, G. L. (2012), “Effect of Biostimulation on Community Level Physiological Profiles of Microorganisms in Field-scale Biopiles Composed of Aged Oil Sludge”, *Bioresource Technology*, Vol. 111, hal. 308-315.

LAMPIRAN A

PROSEDUR ANALISIS PARAMETER

I. Prosedur Analisis Suhu

- a. Peralatan: Termometer
- b. Prosedur kerja analisis:
 1. Termometer dimasukkan ke bagian tengah kompos.
 2. Didiamkan beberapa saat hingga termometer menunjukkan suhu yang tepat.
 3. Dicatat suhu yang ditunjukkan oleh termometer.

II. Prosedur Analisis Derajat Keasaman (pH)

- a. Peralatan:
 1. pH meter
 2. Neraca analitis
 3. *Magnetic stirrer*
 4. Erlenmeyer 100 ml
- b. Bahan: Aquadest
- c. Prosedur kerja analisis:
 1. Sampel ditimbang dengan neraca analitis, lalu dimasukkan ke dalam erlenmeyer 100 ml.
 2. Aquadest ditambahkan dengan perbandingan 1:5 terhadap berat sampel.
 3. Larutan sampel diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 5 menit.
 4. pH sampel diukur dengan pH meter.
 5. Dicatat pH yang ditunjukkan oleh pH meter.

III. Prosedur Analisis Kadar Air

a. Peralatan:

1. Cawan petri
2. Neraca analitis
3. Oven dengan suhu 105°C
4. Desikator

b. Prosedur kerja analisis:

1. Cawan petri dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 1 jam.
2. Cawan petri didinginkan dalam desikator selama 15 menit.
3. Cawan petri ditimbang dengan neraca analitis.
4. Dicatat berat kosong cawan petri (a) yang ditunjukkan oleh neraca analitis.
5. Sampel secukupnya dimasukkan ke dalam cawan petri.
6. Cawan petri berisi sampel ditimbang dengan neraca analitis.
7. Dicatat berat cawan petri berisi sampel (b) yang ditunjukkan oleh neraca analitis.
8. Cawan petri berisi sampel dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama minimal 24 jam.
9. Cawan petri berisi sampel didinginkan dalam desikator selama 15 menit.
10. Cawan petri berisi sampel ditimbang dengan neraca analitis.
11. Dicatat berat cawan petri berisi sampel kering yang telah dioven (c) yang ditunjukkan oleh neraca analitis.

12. Dihitung kadar air pada sampel dengan perhitungan:

$$\text{Kadar air} = \frac{(b - a) - (c - a)}{(b - a)} \times 100\%$$

- dengan a : berat kosong cawan petri (gram)
b : berat cawan petri berisi sampel (gram)
c : berat cawan petri berisi sampel setelah dioven (gram)

IV. Prosedur Analisis VS (*Volatile Solid*)

a. Peralatan:

1. Cawan porselen
2. Neraca analitis
3. *Furnace* dengan suhu 550°C
4. Oven dengan suhu 105°C
5. Desikator

b. Prosedur kerja analisis:

1. Cawan porselen dimasukkan ke *furnace* 550°C selama 1 jam, setelah itu dimasukkan ke dalam oven 105°C selama 15 menit.
2. Cawan porselen didinginkan dalam desikator selama 15 menit.
3. Cawan porselen ditimbang dengan neraca analitis.
4. Dicatat berat kosong cawan porselen (a) yang ditunjukkan oleh neraca analitis.
5. Sampel yang sudah dikeringkan dalam oven selama 24 jam dimasukkan ke cawan dengan kuantitas sampel sebatas kapasitas cawan.

6. Cawan porselen berisi sampel kering ditimbang dengan neraca analitis.
7. Dicatat berat cawan porselen berisi sampel kering (b) yang ditunjukkan oleh neraca analitis.
8. Cawan porselen berisi sampel kering dimasukkan ke dalam *furnace* 550°C selama 1 jam, kemudian dimasukkan ke dalam oven 105°C selama 15 menit.
9. Cawan porselen berisi sampel kering didinginkan dalam desikator selama 15 menit.
10. Cawan porselen berisi sampel kering ditimbang dengan neraca analitis.
11. Dicatat berat cawan porselen berisi sampel kering setelah difurnace dan dioven (c) yang ditunjukkan oleh neraca analitis.
12. Dihitung VS pada sampel dengan perhitungan:

$$Kadar\ air = \frac{(b - a) - (c - a)}{(b - a)} \times 100\%$$

dengan a : berat kosong cawan porselen (gram)

b : berat cawan porselen berisi sampel kering (gram)

c : berat cawan porselen berisi sampel kering setelah difurnace dan dioven (gram)

V. Prosedur Analisis TKN

a. Peralatan:

1. Neraca analitis
2. *Beaker glass* 50 ml
3. Pipet volumetrik 1 ml dan 10 ml

4. Pemanas elektrik
5. Erlenmeyer 100 ml
6. Spektrofotometer

b. Bahan:

1. Aquadest
2. Larutan N-digest
3. Larutan Nessler
4. Larutan Garam Signet

c. Prosedur Kerja Analisis:

1. Sampel kering yang telah dihaluskan ditimbang sebanyak 0.2 gram, kemudian dimasukkan ke dalam *beaker glass*.
2. Larutan N-digest ditambahkan sebanyak 25 ml dan didiamkan semalam.
3. Larutan sampel dipanaskan di atas pemanas elektrik hingga tersisa 5 ml.
4. Aquadest ditambahkan sebanyak 20 ml.
5. Larutan sampel dipanaskan kembali hingga tersisa 10 ml.
6. Larutan sampel didiamkan sampai dingin dan terendap.
7. Larutan sampel bebas endapan diambil sebanyak 5 ml, kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer 100 ml.
8. Aquadest ditambahkan sampai dengan 25 ml.
9. Larutan sampel diambil sebanyak 10 ml.
10. Larutan nessler ditambahkan sebanyak 1 ml.
11. Larutan garam signet ditambahkan sebanyak 1 ml.

12. Nilai absorbansi dibaca dengan spektrofotometer yang sudah dikalibrasi dengan panjang gelombang 410 nm.
13. Dicatat nilai absorbansi pada larutan sampel, kemudian dihitung besarnya TKN menggunakan kurva kalibrasi.

VI. Prosedur Analisis Kandungan Minyak

a. Peralatan:

1. Peralatan ekstraksi, Soxhlet, dengan labu ekstraksi 125 ml
2. Tabung ekstraksi
3. Pemanas elektrik
4. *Vacuum pump*
5. Peralatan filtrasi vacuum
6. *Buchner funnel*, 12 cm
7. Kertas saring, diameter 11 cm
8. Piringan kain kasa, diameter 11 cm
9. *Glass beads / Glass wool*
10. *Water bath*, mampu menahan 85°C
11. *Distilling adapter* dengan tetesan di ujung
12. *Ice bath*
13. Wadah sisa pelarut
14. Desikator
15. Neraca analitis

b. Bahan:

1. Asam klorida, HCl 1+1
2. n-Heksana: kemurnian minimum 85%, isomer C₆ jenuh minimum 99%, residu kurang dari 1 mg/L, didistilasi jika perlu

3. *Diatomaceous-silica filter aid suspension*, 10 g/L air terdistilasi

c. Prosedur Kerja Analisis:

1. Berat awal sampel ditimbang dengan neraca analitis, kemudian dicatat hasil penimbangannya.
2. Jika sampel belum diasidifikasi, diasidifikasi dengan 1:1 HCl atau 1:1 H₂SO₄ hingga pH mencapai 2 atau kurang (umumnya, 5ml cukup).
3. Disiapkan filter yang terdiri dari piringan kain kasa dilapisi kertas saring.
4. Dengan menggunakan *vacuum*, 100 ml *filter aid suspension* disaring melalui penyaring yang telah disiapkan dan cuci dengan 1L air terdistilasi. Disaring hingga tidak ada air yang menetes.
5. Sampel yang sudah diasidifikasi disaring dengan menggunakan *vacuum*. Disaring hingga tidak ada air yang menetes.
6. Kertas saring hasil penyaringan sampel dilipat dan ditutup hingga rapat.
7. Bagian samping dan bawah dari bejana pengumpul dan *Buchner funnel* dibersihkan dengan menggunakan kertas saring yang sudah direndam dalam pelarut ekstraksi.
8. Kertas saring hasil penyaringan sampel dimasukkan ke dalam *extraction thimble*.
9. *Thimble* yang sudah terisi dikeringkan ke dalam oven bersuhu 103°C selama 30 menit.

10. Labu ekstraksi ditimbang menggunakan neraca analitis, lalu ditambahkan 100 ml pelarut ekstraksi (n-Heksana).
11. Minyak diekstraksi pada peralatan Soxhlet pada *rate* 20 putaran/jam selama 4 jam. Waktu diukur dari putaran pertama.
12. Ekstraksi dihentikan, dilanjutkan dengan distilasi pada *water bath* dengan suhu 85°C untuk memisahkan pelarut. Hasil ekstraksi maupun distilasi ditampung.
13. Labu ekstraksi didinginkan dalam desikator hingga diperoleh berat konstan.
14. Labu ekstraksi ditimbang menggunakan neraca analitis.
15. Dihitung kandungan minyak (%) dengan rumus:

$$\text{Kandungan Minyak (\%)} = \frac{\text{berat residu (minyak)}}{\text{berat sampel}} \times 100\%$$

LAMPIRAN B

HASIL ANALISIS PARAMETER

Tabel B.1 a Hasil Pengukuran Suhu

No.	Nama	Suhu (°C) pada Hari ke-									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	85L : 15S (1)	37	37	33	34	34	32	35	34	32	
2	85L : 15S (2)	38	37	33	34	34	31	35	34	31	
3	85L : 15SK (1)	38	39	33	34	34	32	34	34	31	
4	85L : 15SK (2)	37	38	33	35	35	31	35	35	33	
5	70L : 15S (1)	38	39	34	34	36	33	36	34	32	
6	70L : 15S (2)	38	37	33	35	35	31	36	35	32	
7	70L : 15SK (1)	40	38	35	36	36	34	37	35	33	
8	70L : 15SK (2)	39	37	34	35	36	32	36	35	34	
9	55L : 45S (1)	39	39	35	36	39	34	35	35	33	
10	55L : 45S (2)	38	40	35	38	40	33	38	37	34	
11	55L : 45SK (1)	40	38	35	36	36	31	36	36	32	
12	55L : 45SK (2)	39	39	36	37	36	35	36	35	32	
13	50L : 50S (1)	40	40	36	37	39	34	37	37	34	
14	50L : 50S (2)	39	42	36	38	40	32	38	38	34	
15	50L : 50SK (1)	43	39	36	38	37	31	38	36	33	
16	50L : 50SK (2)	40	39	37	37	37	35	38	36	34	
17	K-S (1)	38	46	42	41	41	36	41	38	34	
18	K-S (2)	38	44	44	42	43	40	40	38	35	
19	K-SK (1)	41	44	44	43	43	35	41	39	37	
20	K-SK (2)	38	41	42	42	41	37	39	38	36	
21	K-L (1)	39	36	33	33	35	32	35	34	31	
22	K-L (2)	38	36	33	33	35	31	34	34	32	

Tabel B.1 b Hasil Pengukuran Suhu

No.	Nama	Suhu (°C) pada Hari ke-								
		9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	85L : 15S (1)	36	32	30	36	30	29	30	31	35
2	85L : 15S (2)	37	33	31	36	31	29	32	32	35
3	85L : 15SK (1)	37	33	32	37	31	32	33	33	36
4	85L : 15SK (2)	38	34	32	37	31	32	32	34	36
5	70L : 15S (1)	38	34	32	38	32	31	32	32	36
6	70L : 15S (2)	38	34	32	38	32	31	32	33	37
7	70L : 15SK (1)	39	35	33	37	33	33	33	35	37
8	70L : 15SK (2)	39	35	33	38	32	33	33	36	38
9	55L : 45S (1)	38	35	33	38	32	32	32	32	37
10	55L : 45S (2)	40	36	33	39	32	32	33	34	38
11	55L : 45SK (1)	38	36	34	38	33	34	34	35	38
12	55L : 45SK (2)	38	36	34	38	33	34	34	37	38
13	50L : 50S (1)	39	35	33	38	33	33	33	32	37
14	50L : 50S (2)	41	36	33	38	32	32	34	34	38
15	50L : 50SK (1)	39	37	34	39	33	34	35	36	39
16	50L : 50SK (2)	40	37	35	39	33	34	37	39	40
17	K-S (1)	39	35	34	39	32	32	32	34	37
18	K-S (2)	39	35	33	37	32	32	31	33	37
19	K-SK (1)	40	37	33	37	32	33	32	34	37
20	K-SK (2)	38	36	33	36	32	33	33	34	36
21	K-L (1)	37	33	31	36	32	30	32	33	36
22	K-L (2)	35	33	30	35	30	30	31	33	35

Tabel B.1 c Hasil Pengukuran Suhu

No.	Nama	Suhu (°C) pada Hari ke-								
		18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	85L : 15S (1)	34	33	35	31	29	32	30	29	30
2	85L : 15S (2)	34	33	35	32	33	33	31	29	30
3	85L : 15SK (1)	35	35	35	34	32	35	31	30	31
4	85L : 15SK (2)	35	35	36	34	33	34	32	30	31
5	70L : 15S (1)	35	34	36	33	32	34	31	30	30
6	70L : 15S (2)	35	33	36	34	34	34	31	29	31
7	70L : 15SK (1)	36	35	36	35	34	36	31	30	32
8	70L : 15SK (2)	37	36	36	35	36	37	32	31	32
9	55L : 45S (1)	36	34	36	34	33	35	31	30	31
10	55L : 45S (2)	37	35	38	34	34	35	31	29	31
11	55L : 45SK (1)	38	37	37	38	34	36	32	30	32
12	55L : 45SK (2)	38	36	38	36	36	35	33	32	33
13	50L : 50S (1)	36	36	37	33	33	36	31	30	31
14	50L : 50S (2)	36	35	38	35	35	36	32	30	31
15	50L : 50SK (1)	38	36	38	36	35	38	32	31	33
16	50L : 50SK (2)	38	36	38	36	37	37	33	32	34
17	K-S (1)	35	34	36	35	33	34	31	29	31
18	K-S (2)	35	34	33	36	35	35	31	31	32
19	K-SK (1)	36	35	37	37	34	36	31	31	33
20	K-SK (2)	35	35	36	35	36	35	31	32	33
21	K-L (1)	34	33	34	33	33	34	31	29	31
22	K-L (2)	33	33	33	33	31	32	30	30	32

Tabel B.1 d Hasil Pengukuran Suhu

No.	Nama	Suhu (°C) pada Hari ke-								
		27	28	29	30	31	32	33	34	35
1	85L : 15S (1)	31	32	33	35	31	36	32	31	30
2	85L : 15S (2)	31	32	33	36	32	39	33	31	30
3	85L : 15SK (1)	32	33	34	35	33	38	34	32	31
4	85L : 15SK (2)	32	35	34	35	33	40	35	34	31
5	70L : 15S (1)	32	33	34	36	32	37	34	31	31
6	70L : 15S (2)	32	33	33	36	33	40	34	32	30
7	70L : 15SK (1)	33	35	35	36	34	38	36	35	31
8	70L : 15SK (2)	33	37	36	36	35	40	36	35	31
9	55L : 45S (1)	32	33	34	36	33	39	34	32	31
10	55L : 45S (2)	32	34	34	36	34	41	35	32	31
11	55L : 45SK (1)	33	35	35	34	36	42	37	36	32
12	55L : 45SK (2)	34	37	37	35	35	40	38	38	34
13	50L : 50S (1)	32	33	33	36	33	38	34	32	30
14	50L : 50S (2)	32	34	33	36	35	41	35	34	31
15	50L : 50SK (1)	34	36	35	36	36	42	37	37	33
16	50L : 50SK (2)	35	37	37	35	36	40	38	38	35
17	K-S (1)	32	33	34	33	33	37	36	34	31
18	K-S (2)	32	35	34	32	33	39	36	35	32
19	K-SK (1)	34	37	35	36	36	41	39	37	33
20	K-SK (2)	34	36	36	35	36	38	38	38	33
21	K-L (1)	32	35	35	33	33	40	35	34	31
22	K-L (2)	34	36	35	33	32	38	34	34	32

Tabel B.1 e Hasil Pengukuran Suhu

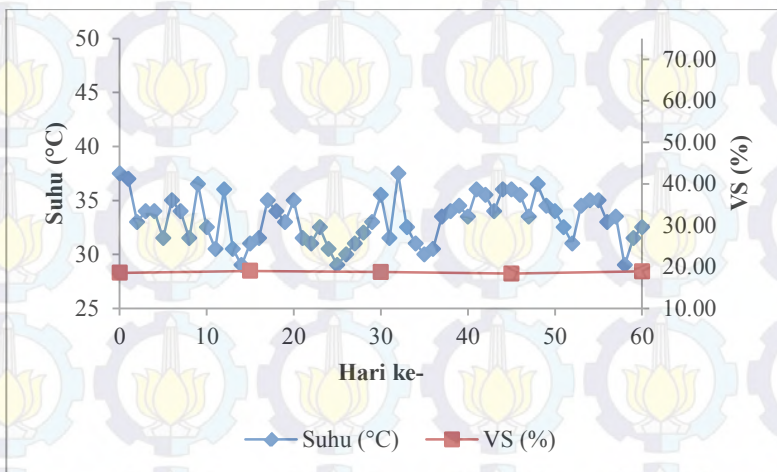
No.	Nama	Suhu (°C) pada Hari ke-								
		36	37	38	39	40	41	42	43	44
1	85L : 15S (1)	31	33	34	34	33	35	35	33	35
2	85L : 15S (2)	30	34	34	35	34	37	36	35	37
3	85L : 15SK (1)	31	33	35	36	34	36	37	35	36
4	85L : 15SK (2)	31	35	35	37	35	37	37	36	36
5	70L : 15S (1)	31	34	35	36	33	37	36	35	36
6	70L : 15S (2)	31	34	35	36	34	38	37	36	37
7	70L : 15SK (1)	31	35	36	37	35	37	38	37	36
8	70L : 15SK (2)	32	36	36	37	35	38	37	37	36
9	55L : 45S (1)	31	35	35	36	34	37	37	36	36
10	55L : 45S (2)	31	34	35	36	35	38	38	37	37
11	55L : 45SK (1)	32	38	37	38	36	39	39	38	38
12	55L : 45SK (2)	33	37	37	37	36	38	38	37	38
13	50L : 50S (1)	31	34	35	36	33	36	37	35	36
14	50L : 50S (2)	31	34	35	36	35	37	37	36	37
15	50L : 50SK (1)	32	37	37	38	36	37	38	38	38
16	50L : 50SK (2)	33	36	37	38	35	39	37	37	38
17	K-S (1)	32	35	35	37	36	39	37	36	36
18	K-S (2)	31	34	33	35	34	36	36	34	35
19	K-SK (1)	33	37	38	39	38	39	39	38	38
20	K-SK (2)	33	36	36	37	36	37	37	37	37
21	K-L (1)	30	36	35	37	34	37	39	36	37
22	K-L (2)	31	35	34	35	33	36	36	34	35

Tabel B.1 f Hasil Pengukuran Suhu

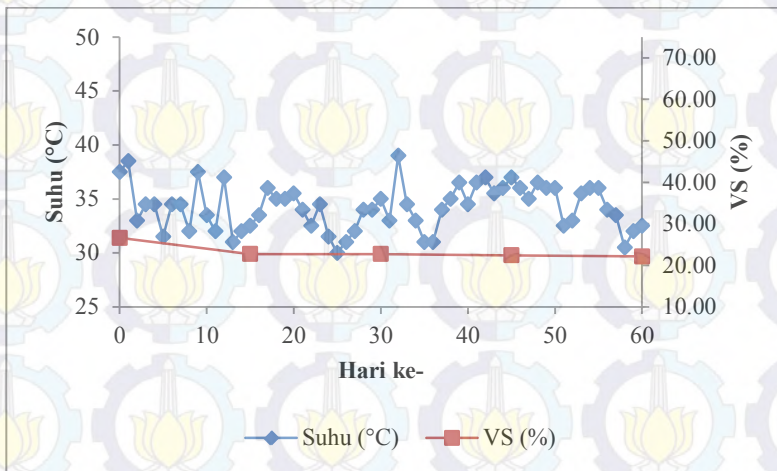
No.	Nama	Suhu (°C) pada Hari ke-								
		45	46	47	48	49	50	51	52	53
1	85L : 15S (1)	35	35	33	36	34	34	32	31	34
2	85L : 15S (2)	37	36	34	37	35	34	33	31	35
3	85L : 15SK (1)	37	36	35	36	36	36	32	33	35
4	85L : 15SK (2)	37	36	35	37	36	36	33	33	36
5	70L : 15S (1)	36	36	34	36	36	35	33	33	35
6	70L : 15S (2)	36	37	34	37	36	35	33	33	35
7	70L : 15SK (1)	37	37	35	36	36	36	33	33	35
8	70L : 15SK (2)	36	37	35	36	36	36	33	33	36
9	55L : 45S (1)	37	37	35	37	36	35	34	33	36
10	55L : 45S (2)	37	37	35	37	36	36	34	33	36
11	55L : 45SK (1)	38	38	36	39	37	37	34	34	36
12	55L : 45SK (2)	37	37	36	38	37	37	37	34	37
13	50L : 50S (1)	37	36	35	36	36	35	33	33	35
14	50L : 50S (2)	37	37	35	37	36	36	34	33	36
15	50L : 50SK (1)	38	38	36	38	37	37	35	34	37
16	50L : 50SK (2)	38	37	36	37	36	36	36	34	37
17	K-S (1)	36	37	36	39	38	36	34	33	35
18	K-S (2)	35	35	33	35	35	34	34	33	33
19	K-SK (1)	38	39	37	39	37	38	35	34	36
20	K-SK (2)	37	37	36	39	36	37	35	34	36
21	K-L (1)	37	37	35	37	36	36	33	33	36
22	K-L (2)	35	35	34	35	35	34	34	33	35

Tabel B.1 g Hasil Pengukuran Suhu

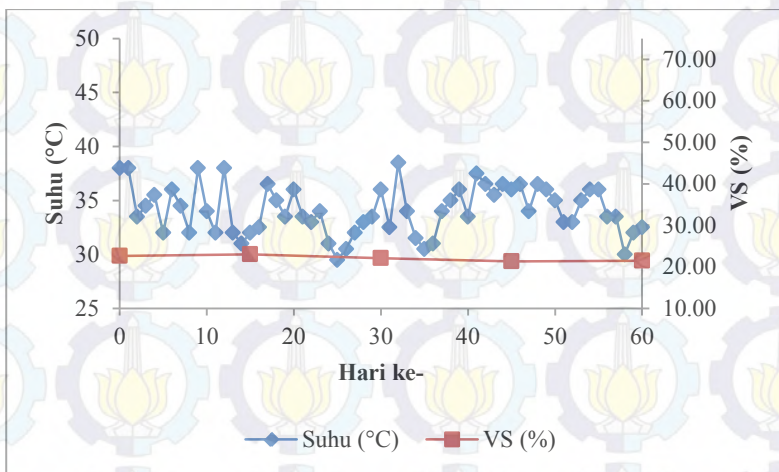
No.	Nama	Suhu (°C) pada Hari ke-						
		54	55	56	57	58	59	60
1	85L : 15S (1)	35	35	33	33	29	31	32
2	85L : 15S (2)	35	35	33	34	29	32	33
3	85L : 15SK (1)	36	36	34	33	30	32	32
4	85L : 15SK (2)	36	36	34	34	31	32	33
5	70L : 15S (1)	36	36	33	33	30	32	32
6	70L : 15S (2)	36	36	34	34	30	32	33
7	70L : 15SK (1)	36	36	34	34	31	32	33
8	70L : 15SK (2)	37	37	35	34	32	32	35
9	55L : 45S (1)	37	37	33	34	30	32	33
10	55L : 45S (2)	37	37	34	35	30	32	34
11	55L : 45SK (1)	38	38	35	35	33	34	36
12	55L : 45SK (2)	38	38	35	36	33	34	36
13	50L : 50S (1)	36	36	34	33	30	32	32
14	50L : 50S (2)	37	37	34	34	31	32	33
15	50L : 50SK (1)	38	38	35	35	33	33	35
16	50L : 50SK (2)	37	37	35	35	33	34	36
17	K-S (1)	37	37	34	35	31	33	35
18	K-S (2)	34	35	33	33	31	33	35
19	K-SK (1)	38	38	36	35	32	34	35
20	K-SK (2)	36	37	35	35	33	34	36
21	K-L (1)	37	39	34	35	32	33	35
22	K-L (2)	35	36	34	34	32	33	35



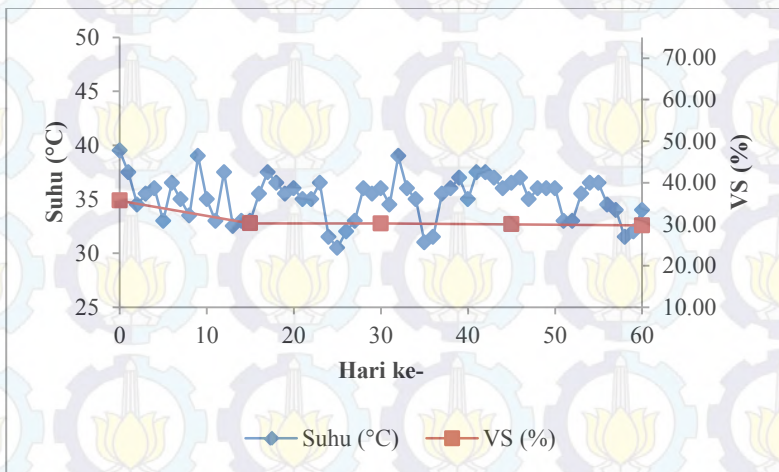
Gambar B. 1 Perbandingan Suhu dan VS pada Reaktor 85L : 15S



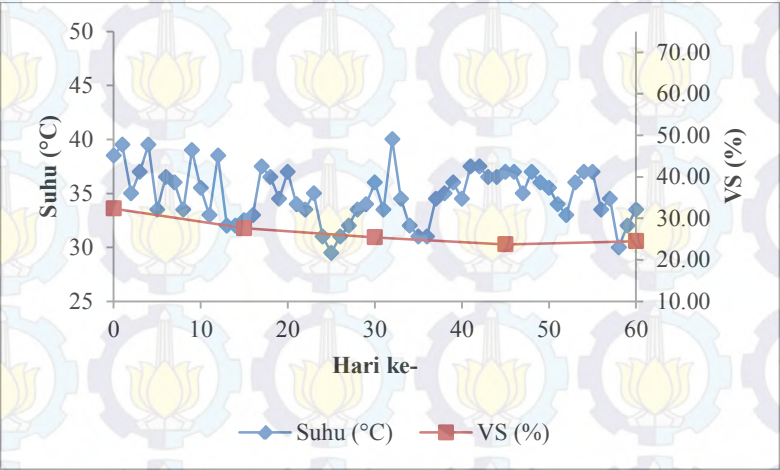
Gambar B. 2 Perbandingan Suhu dan VS pada Reaktor 85L : 15SK



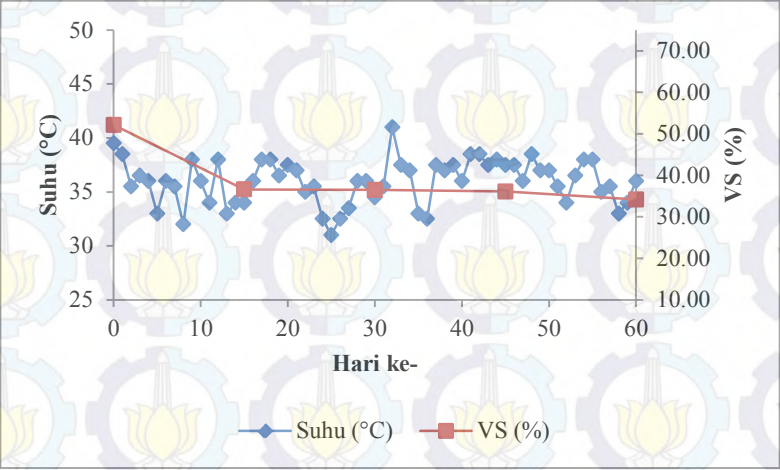
Gambar B. 3 Perbandingan Suhu dan VS pada Reaktor 70L : 30S



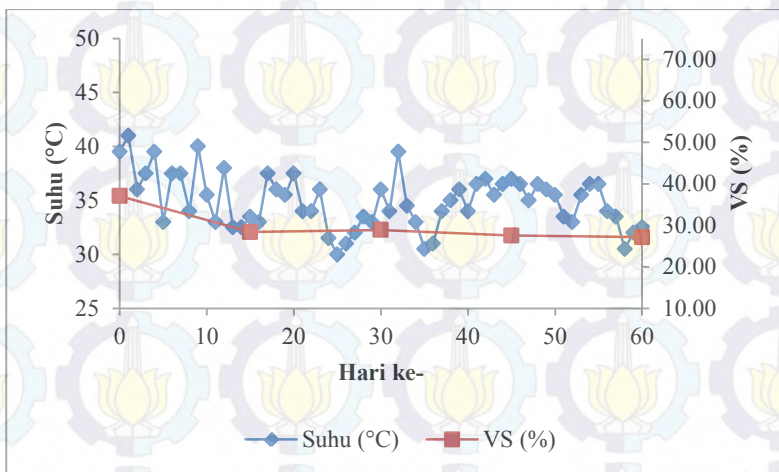
Gambar B. 4 Perbandingan Suhu dan VS pada Reaktor 70L : 30SK



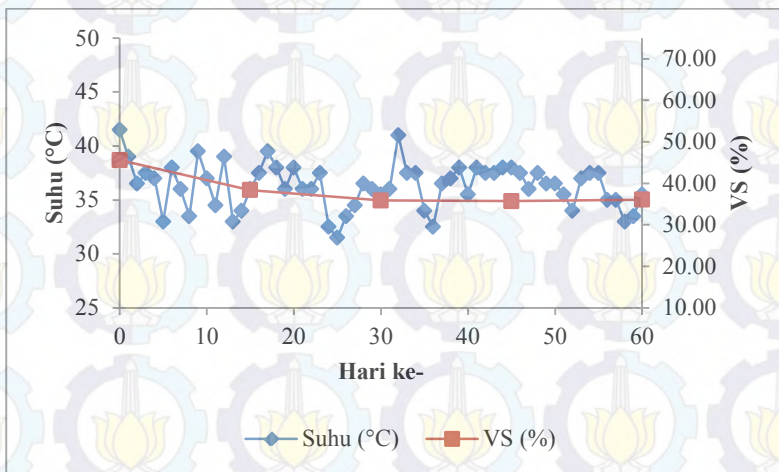
Gambar B. 5 Perbandingan Suhu dan VS pada Reaktor 55L : 45S



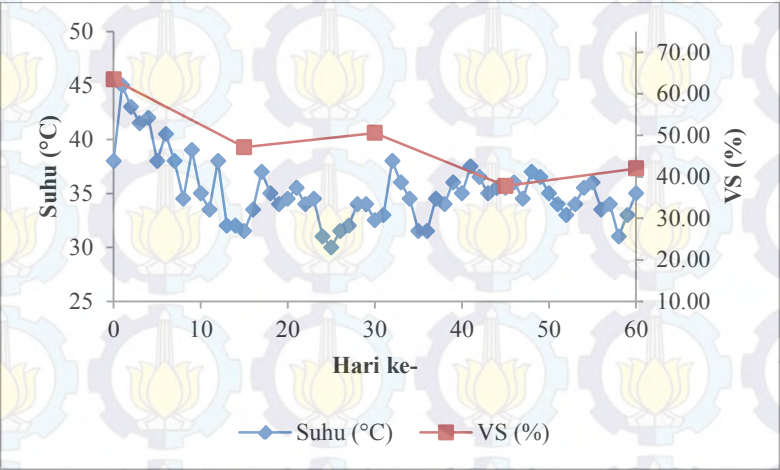
Gambar B. 6 Perbandingan Suhu dan VS pada Reaktor 55L : 45SK



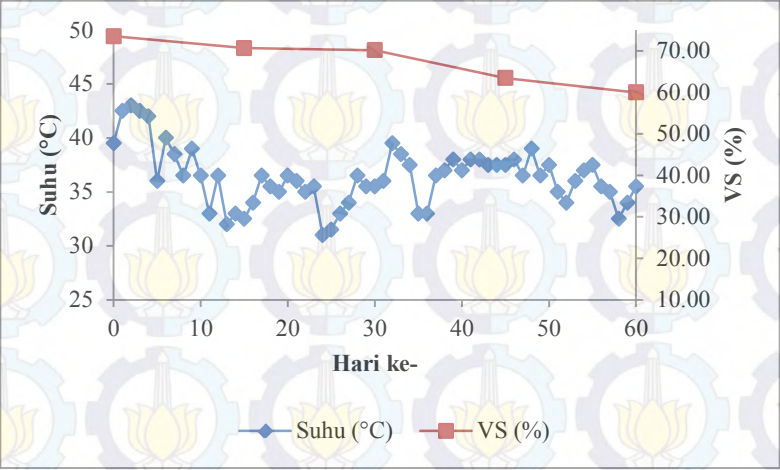
Gambar B. 7 Perbandingan Suhu dan VS pada Reaktor 50L : 50S



Gambar B. 8 Perbandingan Suhu dan VS pada Reaktor 50L : 50SK



Gambar B. 9 Perbandingan Suhu dan VS pada Reaktor K-S



Gambar B. 10 Perbandingan Suhu dan VS pada Reaktor K-SK

Tabel B.2 a Hasil Pengukuran pH

No.	Nama	pH pada Hari ke-						
		0	5	10	15	20	25	30
1	85L : 15S (1)	7.04	7.61	7.75	7.90	7.81	7.68	8.13
2	85L : 15S (2)	7.28	7.44	7.82	8.04	7.91	7.68	8.20
3	85L : 15SK (1)	7.27	7.54	7.80	7.74	7.73	7.59	8.25
4	85L : 15SK (2)	7.21	7.53	7.81	7.85	7.93	7.60	8.32
5	70L : 15S (1)	7.21	7.46	8.13	8.29	7.98	7.63	8.26
6	70L : 15S (2)	7.28	7.48	8.22	8.19	7.77	7.75	8.32
7	70L : 15SK (1)	7.26	7.35	7.97	8.00	7.87	7.63	8.41
8	70L : 15SK (2)	7.45	7.43	8.09	7.97	7.81	7.69	8.39
9	55L : 45S (1)	7.31	7.55	7.68	8.21	8.18	7.96	8.39
10	55L : 45S (2)	7.26	7.74	8.15	8.24	8.04	7.88	8.58
11	55L : 45SK (1)	7.38	7.33	7.77	8.04	7.91	7.92	8.42
12	55L : 45SK (2)	7.26	7.46	7.84	8.01	7.93	7.93	8.44
13	50L : 50S (1)	7.40	7.44	7.91	8.44	7.85	7.83	8.84
14	50L : 50S (2)	7.43	7.97	8.04	8.28	8.41	8.08	8.72
15	50L : 50SK (1)	7.64	7.63	8.02	7.97	7.80	7.96	8.54
16	50L : 50SK (2)	7.61	7.78	7.95	8.14	7.86	7.97	8.55
17	K-S (1)	6.89	8.11	8.59	8.73	8.71	8.93	9.22
18	K-S (2)	6.31	8.13	8.46	8.65	8.80	8.80	9.05
19	K-SK (1)	6.58	7.38	7.80	8.16	8.32	8.57	8.89
20	K-SK (2)	7.11	7.38	7.58	8.42	8.60	8.82	9.03
21	K-L (1)	7.49	7.64	7.77	7.70	7.89	8.05	8.52
22	K-L (2)	7.52	7.69	7.80	7.98	7.88	8.01	8.37

Tabel B.2 b Hasil Pengukuran pH

No.	Nama	pH pada Hari ke-					
		35	40	45	50	55	60
1	85L : 15S (1)	7.57	7.85	7.83	8.02	7.60	7.46
2	85L : 15S (2)	7.65	7.98	7.89	8.08	7.74	7.54
3	85L : 15SK (1)	7.74	7.93	7.72	8.02	7.61	7.45
4	85L : 15SK (2)	7.87	7.91	7.79	7.95	7.61	7.45
5	70L : 15S (1)	7.97	8.22	7.77	8.04	7.81	7.67
6	70L : 15S (2)	7.98	8.10	7.69	8.07	7.65	7.51
7	70L : 15SK (1)	7.86	8.09	7.98	8.06	7.71	7.52
8	70L : 15SK (2)	7.77	8.07	8.05	8.07	7.68	7.56
9	55L : 45S (1)	8.06	8.38	8.14	8.35	7.91	7.69
10	55L : 45S (2)	8.07	8.43	8.20	8.37	7.88	7.88
11	55L : 45SK (1)	7.76	8.28	8.01	8.12	7.78	7.65
12	55L : 45SK (2)	7.96	8.21	7.88	8.13	7.70	7.57
13	50L : 50S (1)	8.11	8.52	8.42	8.42	8.03	7.95
14	50L : 50S (2)	8.24	8.42	8.25	8.36	8.07	7.90
15	50L : 50SK (1)	7.91	8.24	7.95	8.11	7.71	7.62
16	50L : 50SK (2)	7.84	8.18	8.01	7.95	7.65	7.65
17	K-S (1)	9.00	8.93	8.92	9.16	8.76	8.50
18	K-S (2)	8.94	8.91	8.85	8.80	8.59	8.40
19	K-SK (1)	8.31	8.28	8.01	7.96	7.69	7.48
20	K-SK (2)	8.42	8.56	8.40	8.19	7.87	7.53
21	K-L (1)	8.10	8.23	8.10	8.29	8.00	7.74
22	K-L (2)	7.93	8.18	7.98	8.25	7.87	7.67

Tabel B.3 a Hasil Pengukuran Kadar Air

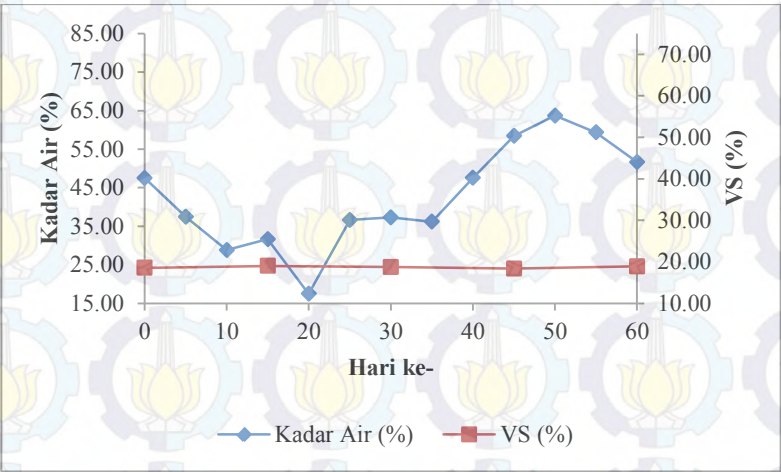
No.	Nama	Kadar Air (%) pada Hari ke-				
		0	5	10	15	20
1	85L : 15S (1)	49.26	36.78	28.10	29.31	15.35
2	85L : 15S (2)	45.77	38.11	29.59	34.01	19.62
3	85L : 15SK (1)	43.41	38.96	27.18	31.44	24.94
4	85L : 15SK (2)	46.33	38.97	30.82	34.96	16.09
5	70L : 15S (1)	49.64	42.08	23.70	33.23	26.89
6	70L : 15S (2)	45.81	43.54	27.98	34.92	25.35
7	70L : 15SK (1)	48.63	26.56	23.89	44.46	34.27
8	70L : 15SK (2)	42.00	24.11	36.77	46.41	40.54
9	55L : 45S (1)	52.96	33.55	28.76	37.76	46.27
10	55L : 45S (2)	53.46	42.14	29.86	44.70	36.78
11	55L : 45SK (1)	35.12	33.89	43.76	49.90	50.76
12	55L : 45SK (2)	39.59	31.82	47.66	49.51	44.59
13	50L : 50S (1)	50.22	33.27	38.32	44.85	38.89
14	50L : 50S (2)	47.46	43.34	28.97	53.18	37.88
15	50L : 50SK (1)	37.85	36.74	52.72	54.46	61.11
16	50L : 50SK (2)	43.80	29.09	35.74	51.14	47.94
17	K-S (1)	52.31	59.66	57.25	62.96	53.78
18	K-S (2)	51.54	42.01	49.88	47.73	63.86
19	K-SK (1)	30.78	23.14	58.87	75.80	69.27
20	K-SK (2)	42.69	20.00	61.96	76.87	72.98
21	K-L (1)	46.81	46.53	35.65	36.95	26.55
22	K-L (2)	47.48	41.64	32.67	31.62	19.28

Tabel B.3 b Hasil Pengukuran Kadar Air

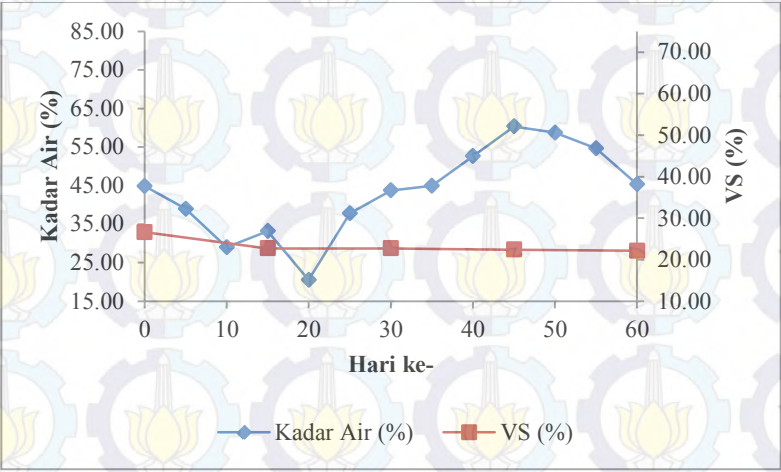
No.	Nama	Kadar Air (%) pada Hari ke-			
		25	30	35	40
1	85L : 15S (1)	37.01	37.02	34.48	46.63
2	85L : 15S (2)	36.26	37.61	37.84	48.50
3	85L : 15SK (1)	34.49	43.39	39.96	50.87
4	85L : 15SK (2)	41.14	44.10	49.93	54.36
5	70L : 15S (1)	43.58	44.54	39.52	51.93
6	70L : 15S (2)	39.36	38.66	48.57	50.99
7	70L : 15SK (1)	53.22	50.82	54.51	53.25
8	70L : 15SK (2)	55.52	50.90	49.90	51.17
9	55L : 45S (1)	41.61	46.53	47.60	49.99
10	55L : 45S (2)	47.24	47.44	42.93	48.60
11	55L : 45SK (1)	60.90	54.71	61.24	60.49
12	55L : 45SK (2)	60.31	58.70	61.56	56.00
13	50L : 50S (1)	48.77	45.42	42.07	56.34
14	50L : 50S (2)	50.06	52.29	55.39	53.93
15	50L : 50SK (1)	61.48	55.40	61.19	61.82
16	50L : 50SK (2)	56.63	54.21	60.88	54.99
17	K-S (1)	57.99	60.37	54.35	62.90
18	K-S (2)	57.04	46.80	44.10	52.03
19	K-SK (1)	74.18	73.19	66.10	68.85
20	K-SK (2)	73.19	73.69	71.60	70.36
21	K-L (1)	48.15	39.92	40.33	49.73
22	K-L (2)	45.38	45.25	39.75	48.58

Tabel B.3 c Hasil Pengukuran Kadar Air

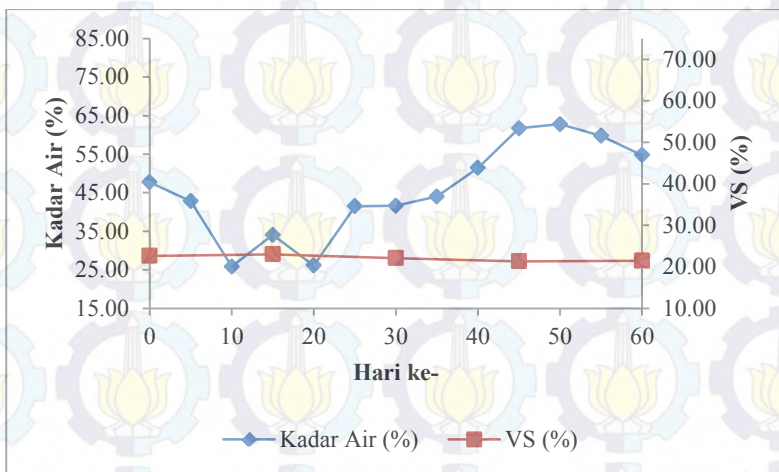
No.	Nama	Kadar Air (%) pada Hari ke-			
		45	50	55	60
1	85L : 15S (1)	59.48	64.42	59.08	51.41
2	85L : 15S (2)	57.36	62.96	59.56	51.92
3	85L : 15SK (1)	59.99	59.29	55.23	45.51
4	85L : 15SK (2)	60.71	58.14	54.07	45.17
5	70L : 15S (1)	62.19	60.99	60.00	55.12
6	70L : 15S (2)	61.19	64.61	59.53	54.44
7	70L : 15SK (1)	59.95	62.34	57.77	50.19
8	70L : 15SK (2)	59.22	61.01	58.64	51.90
9	55L : 45S (1)	63.90	66.47	63.83	58.21
10	55L : 45S (2)	62.93	66.85	61.95	53.84
11	55L : 45SK (1)	66.18	66.64	64.14	57.84
12	55L : 45SK (2)	68.75	69.60	67.18	62.85
13	50L : 50S (1)	65.76	68.74	62.56	53.15
14	50L : 50S (2)	66.91	69.83	65.84	59.01
15	50L : 50SK (1)	67.07	68.12	65.13	59.98
16	50L : 50SK (2)	67.17	67.80	63.59	57.69
17	K-S (1)	68.27	61.64	64.01	58.63
18	K-S (2)	64.33	43.91	57.68	53.83
19	K-SK (1)	64.91	60.61	61.58	61.45
20	K-SK (2)	65.31	66.48	63.14	60.70
21	K-L (1)	54.92	49.90	52.22	55.49
22	K-L (2)	52.43	50.03	48.68	55.55



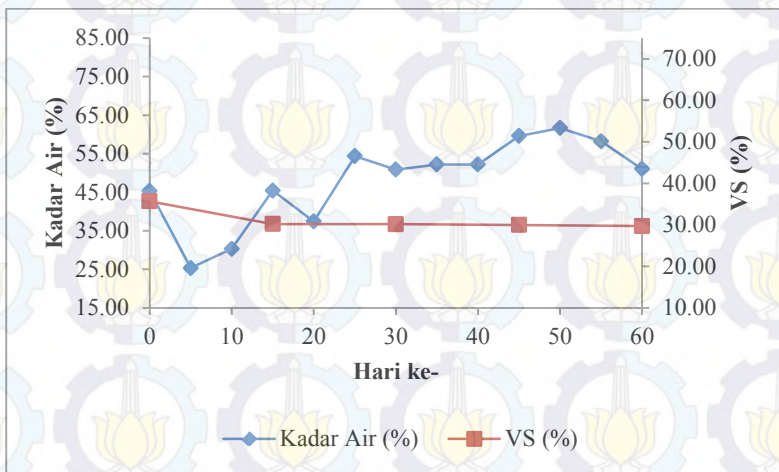
Gambar B. 11 Perbandingan Kadar Air dan VS pada Reaktor 85L : 15S



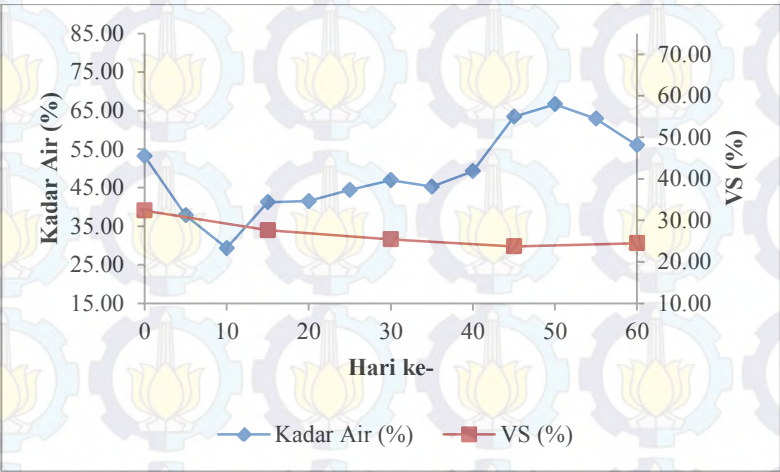
Gambar B. 12 Perbandingan Kadar Air dan VS pada Reaktor 85L : 15SK



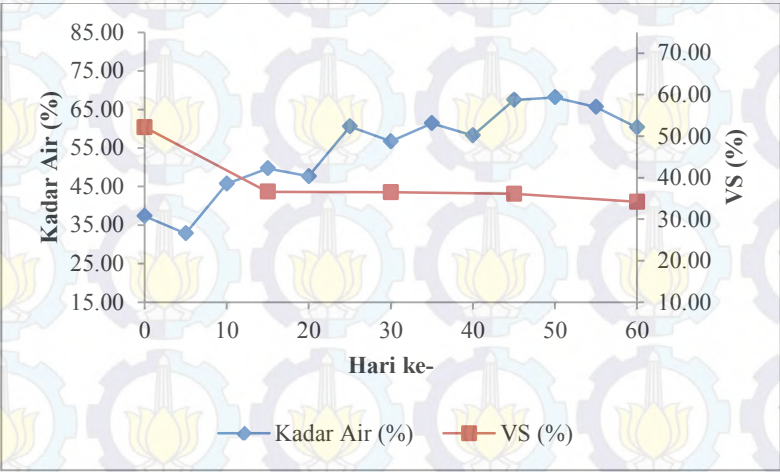
Gambar B. 13 Perbandingan Kadar Air dan VS pada Reaktor 70L : 30S



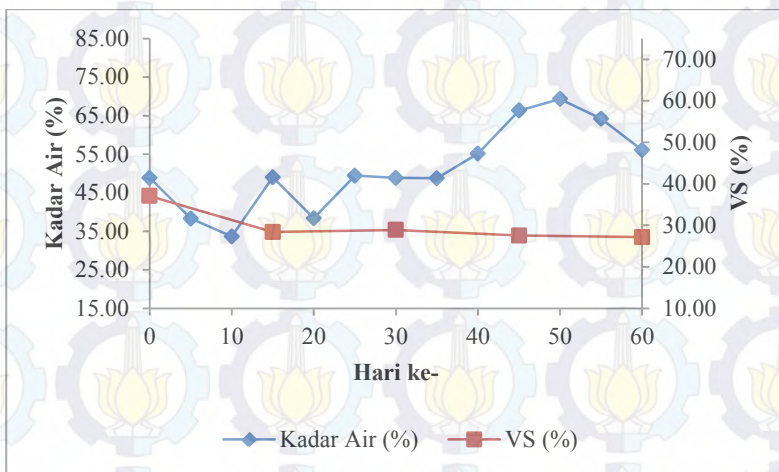
Gambar B. 14 Perbandingan Kadar Air dan VS pada Reaktor 70L : 30SK



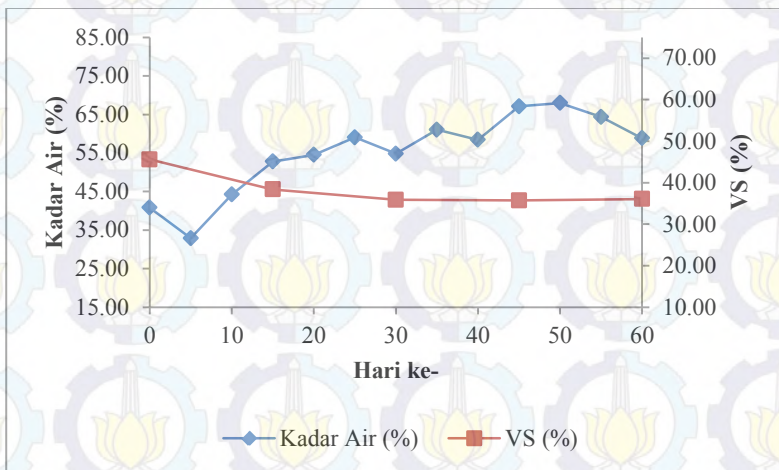
Gambar B. 15 Perbandingan Kadar Air dan VS pada Reaktor 55L : 45S



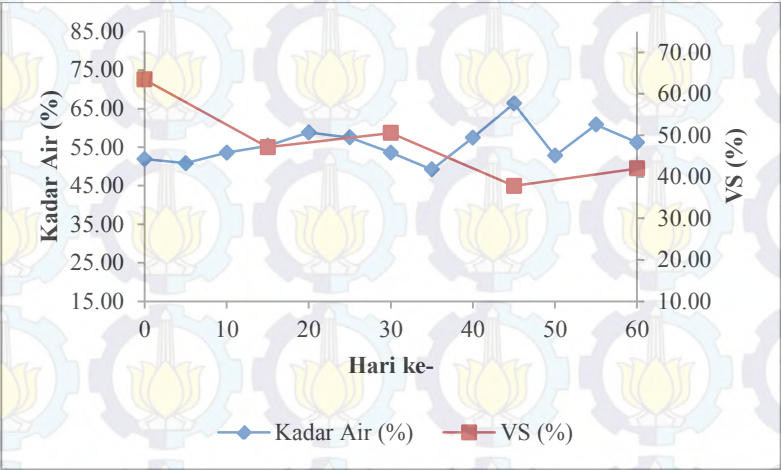
Gambar B. 16 Perbandingan Kadar Air dan VS pada Reaktor 55L : 45SK



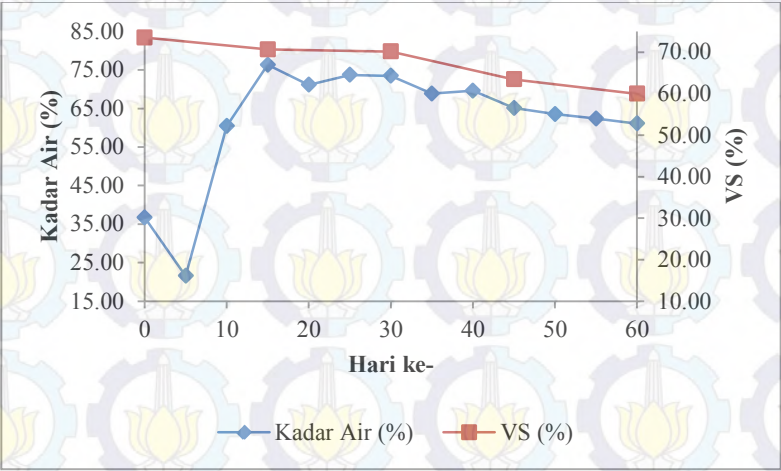
Gambar B. 17 Perbandingan Kadar Air dan VS pada Reaktor 50L : 50S



Gambar B. 18 Perbandingan Kadar Air dan VS pada Reaktor 50L : 50SK



Gambar B. 19 Perbandingan Kadar Air dan VS pada Reaktor K-S



Gambar B. 20 Perbandingan Kadar Air dan VS pada Reaktor K-SK

Contoh perhitungan VS:

Berdasarkan hasil penimbangan menggunakan neraca analitis, diketahui berat sampel kering sebesar 0.9745 gram dan berat abu sebesar 0.8172 gram, sehingga:

$$\% \text{ VS} = \frac{(\text{berat sampel kering} - \text{berat abu})}{\text{berat sampel kering}} \times 100\%$$

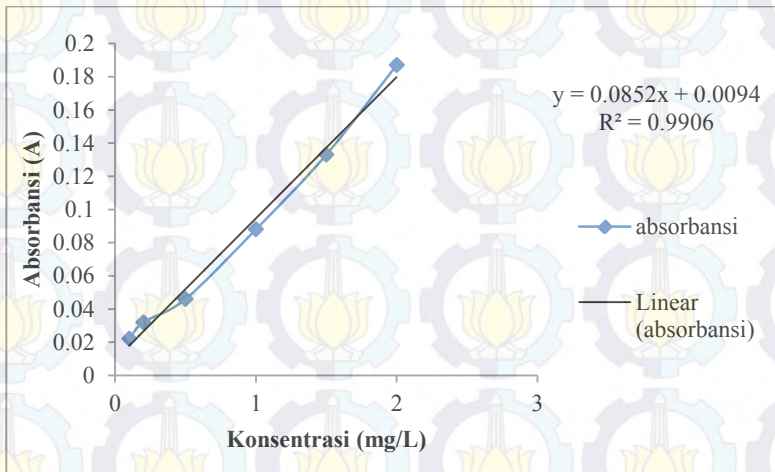
$$\% \text{ VS} = \frac{(0.9745 \text{ gram} - 0.8172 \text{ gram})}{0.9745 \text{ gram}} \times 100\%$$

$$\% \text{ VS} = 16.14 \%$$

Tabel B.4 Hasil Pengukuran Volatile Solid (VS)

No.	Nama	VS (%) pada Hari ke-				
		0	15	30	45	60
1	85L : 15S (1)	16.14	18.34	18.01	17.82	18.22
2	85L : 15S (2)	21.02	19.75	19.54	18.93	19.60
3	85L : 15SK (1)	27.32	21.58	21.15	21.58	21.67
4	85L : 15SK (2)	25.92	23.86	24.31	23.28	22.64
5	70L : 15S (1)	24.04	21.21	22.34	21.31	20.59
6	70L : 15S (2)	21.23	24.86	21.86	21.39	22.37
7	70L : 15SK (1)	34.36	29.24	30.69	30.36	29.62
8	70L : 15SK (2)	36.95	31.14	29.65	29.60	29.76
9	55L : 45S (1)	28.17	24.75	25.15	23.20	24.44
10	55L : 45S (2)	36.58	30.47	25.70	24.27	24.58
11	55L : 45SK (1)	37.67	37.12	35.80	37.21	34.38
12	55L : 45SK (2)	66.63	36.04	37.20	34.96	34.00
13	50L : 50S (1)	37.89	28.70	25.11	26.78	28.13
14	50L : 50S (2)	36.28	28.09	32.70	28.30	26.19
15	50L : 50SK (1)	44.72	36.10	35.19	35.85	34.06
16	50L : 50SK (2)	46.44	40.67	36.52	35.60	38.06

No.	Nama	VS (%) pada Hari ke-				
		0	15	30	45	60
17	K-S (1)	63.78	50.03	59.42	37.57	45.20
18	K-S (2)	63.10	44.19	41.66	37.99	38.81
19	K-SK (1)	76.04	70.89	66.93	66.71	57.78
20	K-SK (2)	70.91	70.42	73.37	60.17	62.13
21	K-L (1)	12.85	15.38	14.57	15.19	14.75
22	K-L (2)	13.09	14.89	14.36	15.20	16.26



Gambar B. 21 Kurva Kalibrasi TKN

Contoh perhitungan TKN:

Absorbansi pada sampel 85L : 15S (1) pada hari ke-15 adalah 0.158 A. Hasil pembacaan ini kemudian diplotkan pada persamaan kurva kalibrasi untuk dicari nilai x sebagai konsentrasi TKN, sebagai berikut:

$$y = 0.085x + 0.009$$

$$\frac{(y - 0.009)}{0.085} = x$$

$$\frac{(0.158 - 0.009)}{0.085} = 1.75 \text{ mg/L}$$

Konsentrasi TKN sebesar 1.75 mg/L ini kemudian dikalikan dengan faktor pengenceran yang digunakan, yakni 100 kali, sehingga menjadi 175.29 mg/L. Untuk menghitung persentase TKN, digunakan perbandingan konsentrasi TKN terhadap konsentrasi sampel yang digunakan. Sampel yang digunakan adalah 0.2 gram yang dilarutkan dalam 50 ml larutan, atau dengan kata lain, konsentrasi sampelnya sebesar 4000 mg/L, sehingga:

$$\% \text{ TKN} = \frac{\text{konsentrasi TKN}}{\text{konsentrasi sampel}} \times 100\%$$

$$\% \text{ TKN} = \frac{175.29 \text{ mg/L}}{4000 \text{ mg/L}} \times 100\%$$

$$\% \text{ TKN} = 4.38 \%$$

Tabel B.5 Hasil Pengukuran TKN

No.	Nama	TKN (%) pada Hari ke-				
		0	15	30	45	60
1	85L : 15S (1)	1.65	4.38	2.88	1.56	1.85
2	85L : 15S (2)	2.09	1.97	2.68	0.71	1.47
3	85L : 15SK (1)	1.78	3.91	2.74	2.00	2.56
4	85L : 15SK (2)	1.86	0.94	3.65	1.29	1.59
5	70L : 15S (1)	2.84	4.68	2.53	2.41	2.76
6	70L : 15S (2)	1.88	1.21	3.29	2.09	1.59
7	70L : 15SK (1)	2.64	2.85	2.82	2.38	3.21

No.	Nama	TKN (%) pada Hari ke-				
		0	15	30	45	60
8	70L : 15SK (2)	2.39	1.50	1.76	2.68	2.26
9	55L : 45S (1)	1.18	3.44	1.44	3.15	3.76
10	55L : 45S (2)	1.90	1.94	4.41	3.00	2.44
11	55L : 45SK (1)	1.03	1.82	1.44	4.74	3.91
12	55L : 45SK (2)	1.14	2.03	3.62	2.68	2.85
13	50L : 50S (1)	1.91	1.44	2.38	3.56	4.32
14	50L : 50S (2)	2.68	1.12	1.79	2.09	2.65
15	50L : 50SK (1)	0.93	2.37	2.38	3.56	3.91
16	50L : 50SK (2)	1.93	1.62	1.94	3.44	1.82
17	K-S (1)	2.03	3.94	3.91	3.76	7.12
18	K-S (2)	1.02	4.21	4.88	5.18	3.97
19	K-SK (1)	2.39	8.47	2.68	7.12	2.79
20	K-SK (2)	1.03	4.94	3.35	4.18	1.32
21	K-L (1)	1.16	1.91	1.88	1.76	1.97
22	K-L (2)	1.50	0.68	1.38	0.15	0.71

Tabel B.6 Hasil Pengukuran VS/N

No.	Nama	VS/N pada Hari ke-				
		0	15	30	45	60
1	85L : 15S (1)	9.78	4.19	6.25	11.43	9.83
2	85L : 15S (2)	10.06	10.02	7.30	26.82	13.33
3	85L : 15SK (1)	15.35	5.52	7.73	10.79	8.47
4	85L : 15SK (2)	13.94	25.35	6.67	17.99	14.26
5	70L : 15S (1)	8.46	4.53	8.83	8.84	7.45
6	70L : 15S (2)	11.29	20.62	6.64	10.24	14.08
7	70L : 15SK (1)	13.02	10.25	10.87	12.74	9.24

No.	Nama	VS/N pada Hari ke-				
		0	15	30	45	60
8	70L : 15SK (2)	15.46	20.76	16.80	11.06	13.14
9	55L : 45S (1)	23.87	7.19	17.45	7.37	6.49
10	55L : 45S (2)	19.25	15.70	5.83	8.09	10.07
11	55L : 45SK (1)	36.58	20.36	24.84	7.86	8.79
12	55L : 45SK (2)	58.45	17.76	10.28	13.06	11.92
13	50L : 50S (1)	19.84	19.91	10.54	7.53	6.51
14	50L : 50S (2)	13.54	25.13	18.23	13.55	9.89
15	50L : 50SK (1)	48.08	15.25	14.77	10.07	8.71
16	50L : 50SK (2)	24.06	25.14	18.81	10.35	20.87
17	K-S (1)	31.42	12.69	15.19	9.98	6.35
18	K-S (2)	61.86	10.51	8.53	7.34	9.78
19	K-SK (1)	31.81	8.37	25.01	9.37	20.68
20	K-SK (2)	68.85	14.25	21.88	14.41	46.94
21	K-L (1)	11.07	8.05	7.74	8.61	7.49
22	K-L (2)	8.73	22.01	10.39	103.34	23.04

Tabel B.7 Hasil Pengukuran Minyak Total

No.	Nama	Minyak Total ($\mu\text{g/g}$) pada Hari ke-			
		0	30	45	60
1	85L : 15S (1)	37396	24500	27975	22278
2	85L : 15S (2)	35222	25290	28364	20667
3	85L : 15SK (1)	37300	24000	21978	19758
4	85L : 15SK (2)	33800	25103	16742	19665
5	70L : 15S (1)	56200	31857	26026	21023
6	70L : 15S (2)	52400	30519	20800	24177
7	70L : 15SK (1)	52600	15704	20927	17609

No.	Nama	Minyak Total ($\mu\text{g/g}$) pada Hari ke-			
		0	30	45	60
8	70L : 15SK (2)	43400	20148	13115	14750
9	55L : 45S (1)	65000	9440	24970	16932
10	55L : 45S (2)	55200	7500	27361	13247
11	55L : 45SK (1)	34600	11857	20927	12258
12	55L : 45SK (2)	65400	18963	13029	13730
13	50L : 50S (1)	75200	9067	23860	16395
14	50L : 50S (2)	53400	25655	27347	18480
15	50L : 50SK (1)	40600	16400	9459	11948
16	50L : 50SK (2)	39000	13467	10171	10625
17	K-S (1)	28400	19500	16752	11195
18	K-S (2)	65200	23111	13913	7313
19	K-SK (1)	40800	6080	13485	2197
20	K-SK (2)	26200	8462	3333	4000
21	K-L (1)	78250	15613	7912	24691
22	K-L (2)	73750	44250	31176	27117

Tabel B.8 Hasil Perhitungan Reduksi Minyak pada Campuran Kompos

Hari ke-		0	30	45	60			
No.	Nama	Minyak Total Awal (µg/g)	Minyak Total Akhir (µg/g)	Reduksi Minyak Campuran Kompos (%)	Minyak Total Akhir (µg/g)	Reduksi Minyak Campuran Kompos (%)	Minyak Total Akhir (µg/g)	Reduksi Minyak Campuran Kompos (%)
1	K-S	46800	21306	54.48	15333	67.24	9254	80.23
2	K-SK	33500	7271	78.30	8409	74.90	3098	90.75
3	K-L	76000						

Tabel B.9 Hasil Perhitungan Minyak Lumpur

Hari ke-		0			30				45				60			
No.	Nama	Minyak Total Awal (µg/g)	Minyak Campuran Kompos Awal (µg/g)	Minyak Lumpur Awal (µg/g)	Minyak Total Akhir (µg/g)	Minyak Campuran Kompos Akhir (µg/g)	Minyak Lumpur Akhir (µg/g)	Reduksi Minyak Lumpur (%)	Minyak Total Akhir (µg/g)	Minyak Campuran Kompos Akhir (µg/g)	Minyak Lumpur Akhir (µg/g)	Reduksi Minyak Lumpur (%)	Minyak Total Akhir (µg/g)	Minyak Campuran Kompos Akhir (µg/g)	Minyak Lumpur Akhir (µg/g)	Reduksi Minyak Lumpur (%)
1	85L : 15S	36309	3559	32750	24895	1620	23275	29	28170	1166	27004	18	21473	704	20769	37
2	85L : 15SK	35550	2566	32984	24552	557	23995	27	19360	644	18716	43	19711	237	19474	41
3	70L : 30S	54300	11338	42962	31188	5162	26026	39	23413	3715	19698	54	22600	2242	20358	53
4	70L : 30SK	48000	7627	40373	17926	1655	16271	60	17021	1914	15106	63	16179	705	15474	62
5	55L : 45S	60100	20135	39965	8470	9167	-697 *)	102	26165	6597	19569	51	15089	3982	11108	72
6	55L : 45SK	50000	13253	36747	15410	2876	12534	66	16978	3327	13651	63	12994	1226	11768	68
7	50L : 50S	64300	24505	39795	17361	11156	6205 *)	84	25603	8028	17575	56	17437	4846	12592	68
8	50L : 50SK	39800	12176	27624	14933	2643	12291	56	9815	3056	6759	76	11287	1126	10160	63

Keterangan: *) *Outlier*

Contoh perhitungan reduksi minyak lumpur reaktor 85L : 15S pada hari ke-30:

$$\begin{aligned} \text{Minyak total awal} &= 36309 \text{ } \mu\text{g/g} \\ \text{Minyak campuran} &= \\ \text{kompos awal} &= \frac{15\% \times \text{minyak KS}}{(15\% \times \text{minyak KS} + 85\% \text{minyak KL})} \\ &\quad \times \text{minyak total awal} \end{aligned}$$

$$= \frac{15\% \times 46800}{(15\% \times 46800 + 85\% \times 76000)} \times 36309$$

$$\begin{aligned} &= 3559 \text{ } \mu\text{g/g} \\ \text{Minyak lumpur awal} &= \text{minyak total awal} - \text{minyak} \\ &\quad \text{campuran kompos awal} \\ &= 36309 \text{ } \mu\text{g/g} - 3559 \text{ } \mu\text{g/g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 32750 \text{ } \mu\text{g/g} \\ \text{Minyak pada campuran} &= \\ \text{kompos (K-S) awal} &= 46800 \text{ } \mu\text{g/g} \end{aligned}$$

$$\text{Minyak pada campuran} = 21306 \text{ } \mu\text{g/g}$$

$$\begin{aligned} \text{kompos (K-S) akhir} &= \\ \text{Reduksi minyak pada} &= \frac{46800 - 21306}{46800} \times 100\% \\ \text{campuran kompos} &= \end{aligned}$$

$$= 54.48 \text{ } \%$$

$$\text{Minyak total akhir} = 24895 \text{ } \mu\text{g/g}$$

$$\begin{aligned} \text{Minyak campuran} &= (100 - 54.48)\% \times \text{minyak campuran} \\ \text{kompos akhir} &= \end{aligned}$$

$$(100 - 54.48)\% \times 3559 \text{ } \mu\text{g/g}$$

$$= 1620 \text{ } \mu\text{g/g}$$

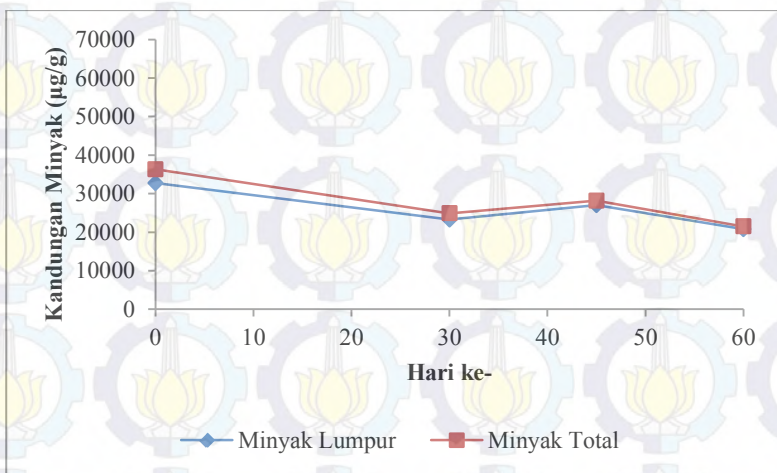
$$\begin{aligned} \text{Minyak lumpur akhir} &= \text{minyak total akhir} - \text{minyak} \\ &\quad \text{campuran kompos akhir} \end{aligned}$$

$$= 24895 \text{ } \mu\text{g/g} - 1620 \text{ } \mu\text{g/g}$$

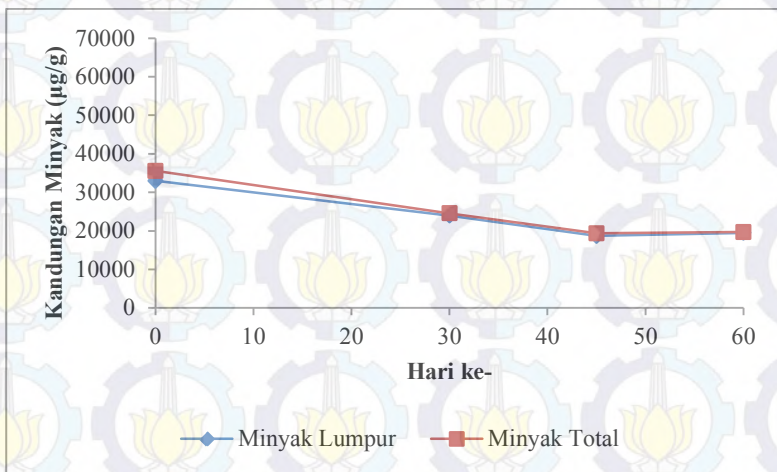
$$= 23275 \text{ } \mu\text{g/g}$$

$$\begin{aligned} \text{Reduksi minyak} &= \frac{32750 - 23275}{32750} \times 100\% \\ \text{lumpur} &= \end{aligned}$$

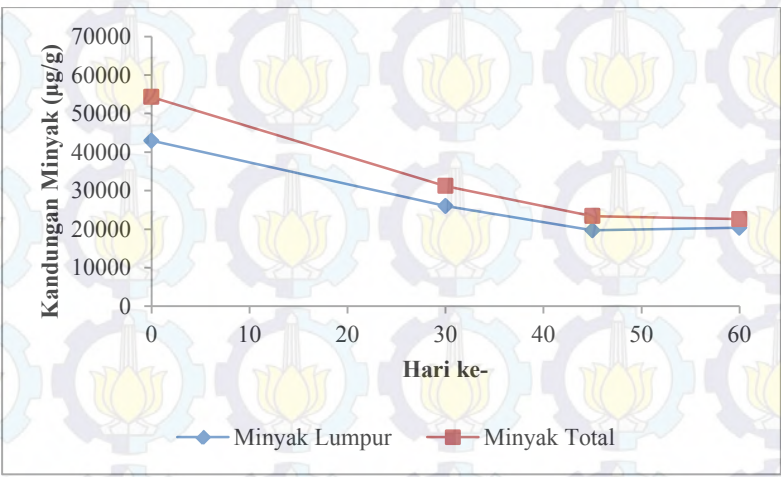
$$= 37 \text{ } \%$$



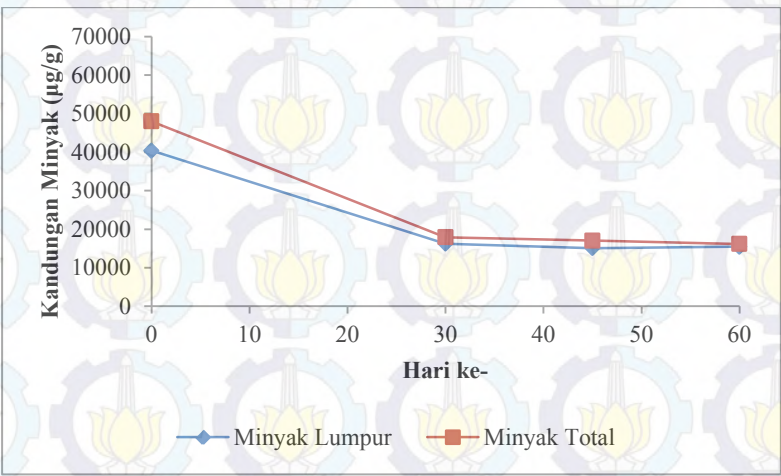
Gambar B. 22 Kandungan Minyak pada Lumpur Reaktor 85L : 15S



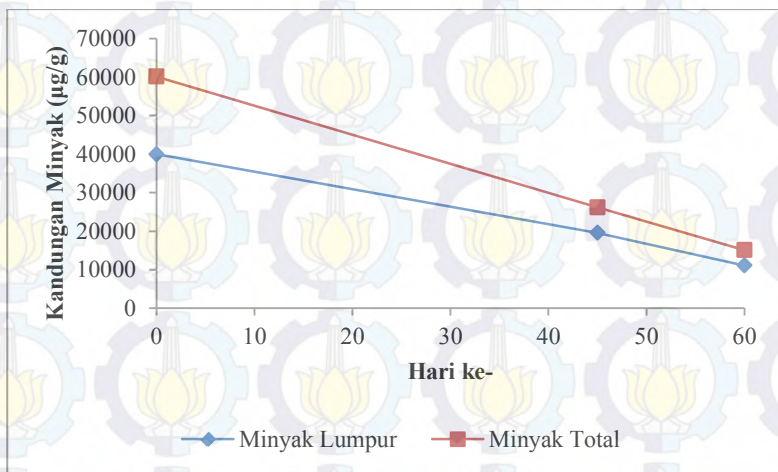
Gambar B. 23 Kandungan Minyak pada Lumpur Reaktor 85L : 15SK



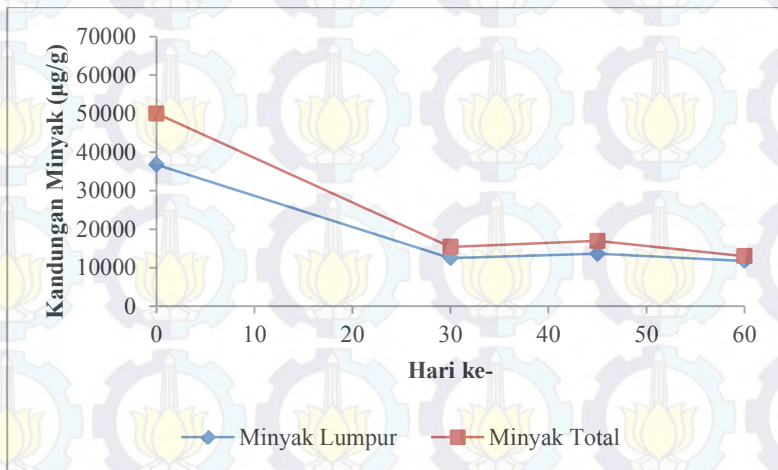
Gambar B. 24 Kandungan Minyak pada Lumpur Reaktor 70L : 30S



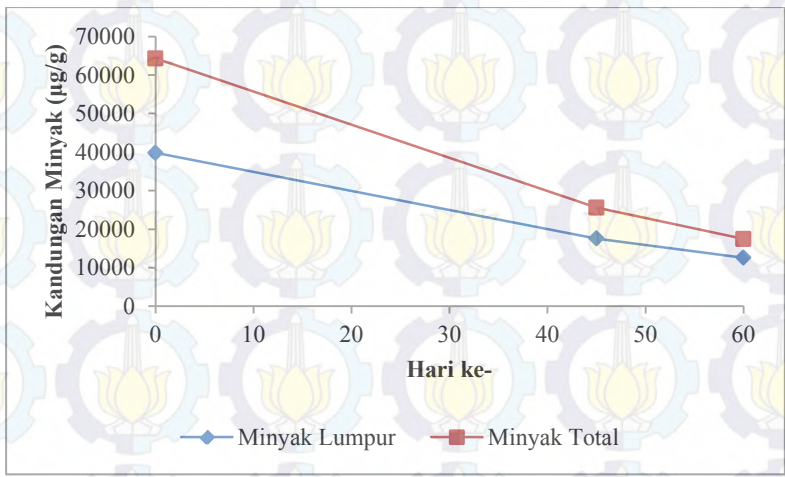
Gambar B. 25 Kandungan Minyak pada Lumpur Reaktor 70L : 30SK



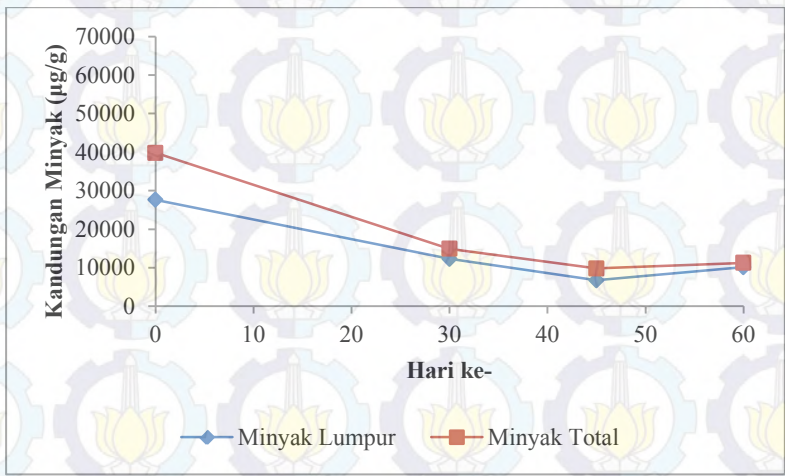
Gambar B. 26 Kandungan Minyak pada Lumpur Reaktor 55L : 45S



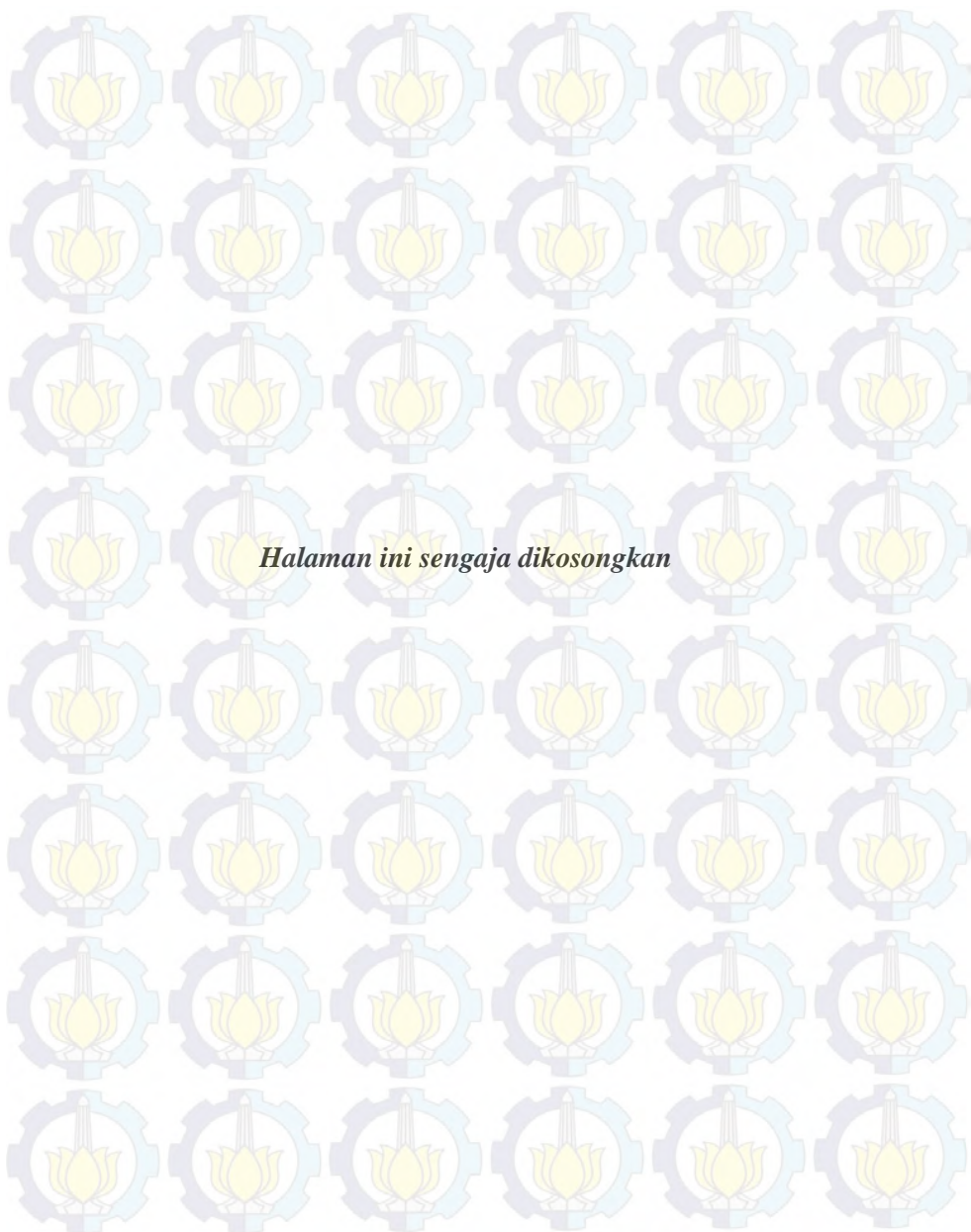
Gambar B. 27 Kandungan Minyak pada Lumpur Reaktor 55L : 45SK



Gambar B. 28 Kandungan Minyak pada Lumpur Reaktor 50L : 50S



Gambar B. 29 Kandungan Minyak pada Lumpur Reaktor 50L : 50SK



LAMPIRAN C

HASIL ANALYSIS OF VARIANCE (ANOVA)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Reduksi

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1123.000 ^a	3	374.333	21.700	.006
Intercept	26912.000	1	26912.000	1560.116	.000
Komposisi	1123.000	3	374.333	21.700	.006
Error	69.000	4	17.250		
Total	28104.000	8			
Corrected Total	1192.000	7			

a. R Squared = .942 (Adjusted R Squared = .899)

Gambar C. 1 Hasil ANOVA Pengaruh Komposisi Lumpur dan Sampah terhadap Nilai Penyisihan Polutan Minyak

Reduksi

Tukey HSD

Komposisi	N	Subset	
		1	2
R8515	2	39.0000	
R7030	2		57.5000
R5050	2		65.5000
R5545	2		70.0000
Sig.		1.000	.123

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 17.250.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

b. Alpha = .05.

Gambar C. 2 Hasil Uji Tukey's HSD Pengaruh Komposisi Lumpur dan Sampah terhadap Nilai Penyisihan Polutan Minyak

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Reduksi

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2.000 ^a	1	2.000	.010	.923
Intercept	26912.000	1	26912.000	135.691	.000
Campuran	2.000	1	2.000	.010	.923
Error	1190.000	6	198.333		
Total	28104.000	8			
Corrected Total	1192.000	7			

a. R Squared = .002 (Adjusted R Squared = -.165)

Gambar C. 3 Hasil ANOVA Pengaruh Campuran Kompos terhadap Nilai Penyisihan Polutan Minyak

LAMPIRAN D DOKUMENTASI



Gambar D. 1 *Workshop* PT PAMA



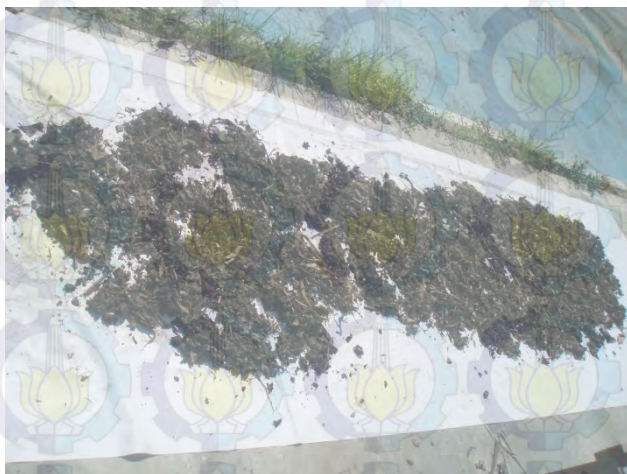
Gambar D. 2 Proses Pembersihan *Workshop*



Gambar D. 3 Limbah Lumpur Berminyak



Gambar D. 4 Kotoran Sapi



Gambar D. 5 Sampah Basah Rumah Tangga

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dengan nama lengkap Patricia Permana Jati Hapsari lahir di Semarang pada tanggal 7 Juli 1993. Anak dari pasangan A. Dwisetia Poerwono dan E. M. Tri Wahyuni ini merupakan anak ke-2 dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal dari SD PL Don Bosko Semarang, SMP PL Domenico Savio Semarang, SMA Kolese Loyola Semarang, dan menjadi salah satu mahasiswa di jurusan Teknik

Lingkungan FTSP ITS angkatan 2010. Semasa menjalani masa pendidikannya di perguruan tinggi, penulis merupakan mahasiswa yang cukup aktif di organisasi dan kegiatan kemahasiswaan, antara lain sebagai Staff Departemen Hubungan Luar Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) ITS (2011-2012), Staff Kementerian Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa BEM ITS (2011-2012), Kepala Bidang Lingkar Kampus Departemen Dalam Negeri HMTL ITS (2012-2013), dan Staff *Environmental Engineering English Club* (EEEC) HMTL ITS (2012-2013). Penulis juga aktif sebagai Pemandu LKMM di FTSP ITS. Penulis pernah menjalankan Kerja Praktik di PT Teknindo Geosistem Unggul Surabaya untuk melakukan evaluasi perencanaan TPA Belau, Kalimantan Timur. Penulis dapat dihubungi melalui email p.permanajati@gmail.com.